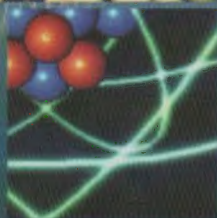


منتدى إقرأ الثقافي  
www.iqra.ahlamontada.com

# الدليل الهندسي الشامل

المرجع في المعادلات الرياضية والهندسية والعمية



إعداد الدكتور المهندس أحمد بوشى

لتحميل انواع الكتب راجع: (مُنْتَدَى إِقْرَأِ النُّقَافِي)

پدای دانلود کتابهای مختلف مراجعه: (منتدی اقرا النقای)

بۆدابدزانندی چۆریها کتیب:سەردانی: (مُنْتَدَى إِقْرَأِ النُّقَافِي)

[www.iqra.ahlamontada.com](http://www.iqra.ahlamontada.com)



[www.iqra.ahlamontada.com](http://www.iqra.ahlamontada.com)

للكتيب ( كوردی , عربي , فارسي )



**الدليل الهندسي الشامل**  
**المرجع في المعادلات الرياضية**  
**والهندسية والعلمية**

- الطبعة الأولى 2005
  - جميع الحقوق محفوظة
  - الناشر: شعاع للنشر والعلوم
- حارة الرباط 2 - المنطقة 12 - حي السبيل 2

تلفاكس : 00963 (21) 2643545

هاتف : 00963 (21) 2643546

سورية - حلب

ص.ب 7875

لمزيد من المعلومات ولشراء كتب الدار مباشرة على الانترنت

<http://www.raypub.com>

يرجى زيارة موقعنا

[nabilray@scs-net.org](mailto:nabilray@scs-net.org)

البريد الإلكتروني للقراء:

[raymail@raypub.com](mailto:raymail@raypub.com)

البريد الإلكتروني لدور النشر والموزعين:

# **الدليل الهندسي الشامل**

## **المرجع في المعادلات الرياضية والهندسية والعلمية**

**إعداد**  
**الدكتور المهندس أحمد بوشي**

## الإهداء

إلى من خلق الوجود لأجله  
إلى منبع العلم الذي لا ينضب سيدنا محمد صلى الله عليه وسلم  
أهدي هذا العمل المتواضع

أحمد بوشي

---

# المقدمة

---

للمساهمة في بناء صرح التقدم العلمي ومواكبة تطوره السريع، تحتاج المكتبة العربية اليوم إلى لبنة جديدة تساعد وتدعم إنشاء هذا الصرح.

تبرز أهمية هذا الكتاب لكونه يحتوي على كافة القوانين العلمية والمعادلات الهندسية المستخدمة في شتى أنواع العلوم، بالإضافة إلى الواحدات والجداول والرسوم التوضيحية الخاصة بكل علم.

يشمل هذا الكتاب العلوم المتنوعة التالية:

- الرياضيات.
- المعلوماتية.
- الفيزياء (ويتضمن: الاهتزازات والموجات وميكانيك الموائع والحرارة والصوت).
- الفيزياء الذرية.
- الميكانيك الهندسي.
- الهندسة الكهربائية.
- الهندسة الإلكترونية.
- هندسة التحكم.
- تصميم الآلات.





# المقادير والواحدات

## المقادير الفيزيائية

ترتبط جميع معادلات وقوانين هذا الكتاب ارتباطاً رياضياً مع المقادير الفيزيائية، لأنها مقادير قابلة للقياس.

يتكون أي مقدار فيزيائي من جداء قيمته العددية وواحدة قياسية (مثلاً المسافة = 3m، شدة التيار الكهربائي = 6A ... الخ). يسمح في الصيغ والجداول والمخططات البيانية التعبير عن دلالات المقادير الفيزيائية برموز أو أدلة صيغة، وقد اتفقت الجمعيات العالمية المختصة بوضع مدلولات قياسية ونظامية للصيغ الهندسية والمقادير الفيزيائية.

حيث يتم بموجب هذا الاتفاق طباعة دلالات الصيغ في الكتب والمجلات العالمية (بشكل مائل) وبحيث تصلح أيضاً لدلالات الرموز، مع أنها تعتبر دلالات صيغ وليست اختصارات. يتم اشتقاق كل المقادير الفيزيائية من خلال جداءات قوى لسبعة قيم أساسية هي: (الطول، الزمن، الكتلة، شدة التيار الكهربائي، درجة الحرارة، شدة الضوء، كمية المادة).

هذه الجداءات توصف كبعد لإحدى القيم التابعة لها، حيث لا يسمح بالخطأ في واحدة المقدار لأنها غير متعلقة بنظام القياس. إن قياس المقادير الفيزيائية - الهندسية يعني المقارنة مع شيء ما، وبشكل يوافق "واحدات قياسية" محددة، وهذا ما يشكل بمجموعه نظام قياس أو نظام واحداث. مع مرور الزمن تطورت أنظمة قياس كثيرة، في الغالب فقط لمجالات جزئية محددة من الفيزياء أو الهندسة وقد اشتهر نظامان في علم الميكانيك، الأول (نظام MKS) نظام هندسي متر - كيلوغرام - ثانية، والثاني (نظام CGS) نظام فيزيائي سنتيمتر - غرام - ثانية.

أما في مجال الهندسة الإلكترونية فقد تطور ذلك عن طريق إدخال نظام الأمير MKSA، والذي أصبح اليوم جزءاً أساسياً من نظام الوحدات العالمي (SI). مع تطور هذا النظام تم إيجاد نسب واضحة في مجال الوحدات أدت إلى خفض عددها بشكل ملحوظ.



## المعادلات

تستخدم المعادلات العددية بهدف ربط المقادير الفيزيائية مع بعضها البعض بدقة، حيث يشير كل رمز من رموز<sup>1</sup> المعادلة إلى أحد المقادير الفيزيائية. إذا هي حياء قيم عددية مع واحدة، لذلك فإن المعادلات ذات المقادير غير المتعلقة بالواحدة المختارة تصلح من حيث المبدأ.

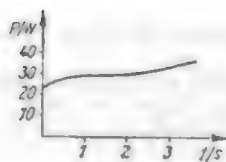
في المعادلات التي تحتوي ثوابت وقيم جدول<sup>2</sup> فما شابه ذلك يكون من الأسهل، تعويض وحدات معينة. وهذا ينطبق على المعادلات ذات المقادير المستقلة. وتحتوي هذه المعادلات أيضاً مقادير فيزيائية، والتي تم بواسطة حط كسري (غالباً مائل) يستخدم للواحدة المعطاة، مثلاً:  $m/kg = \rho \cdot kg \cdot dm^{-3} \cdot V/dm^3$

الكثافة  $\rho$  معطاة في الجداول بـ  $kg \cdot dm^{-3}$

نختصر الوحدات بعد تعويض القيم العددية والوحدات للمقادير المستقلة. كما أن عمونة رؤوس الجداول ومخاور الإحداثيات<sup>3</sup> تم بهدف المعادلات العددية المفصلة. إن النسبة الحاصلة في قمة الجداول أو مخاور<sup>4</sup> المخاور من المقدار والواحدة هي قيم عددية للمقادير المعنية المقصودة، لذا يسمح بوجود القيم العددية في الجداول أو على امتداد المخاور فقط. ومن الخطأ وضع الوحدات ضمن أقواس من الشكل [1].

للأسف تقوم بعض الكتب الهندسية بكتابة معادلات ذات قيمة عددية، وهذا صحيح فقط عند استخدام وحدات مسبقاً محددة مضبوطة. كل صيغة تحسد هنا

<sup>1</sup> بشرط عدم وجود رموز رياضية ( $\pi$ ,  $e$ ,  $\ln$ ,  $\sin$ , ...).



الشكل (1)

فقط قيمة عددية، وبذلك تكون معادلات القيم العددية مناقضة للمقولة، المقدار = قيمة عددية  $\times$  وحدة.

في هذا الكتاب تميز المعادلات ذات القيم العددية بالرمز نجمة (\*).

## 1. نظام الواحدات العالمية (SI)

إن نظام الواحدات العالمي (SI) للمقادير الهندسية والفيزيائية والواحدات هو النظام الذي يُنصح باستخدامه في كل البلدان. إن اسم "System International d'unités" يختصر في كل اللغات بـ (SI)، وقد أقر في عام 1961 من المؤتمر العام الحادي عشر للمقاييس والأوزان. هذا النظام يتضمن الواحدات SI (وهي الواحدات الأساسية لـ SI ومشتقاتها).

يستخدم نظام SI واهحدات المقادير الأساسية المذكورة سابقاً كواحدات أساسية.

المقدار الأساسي	الرمز	الوحدة الأساسية	رمز الوحدة
الطول	$l$	المتر	m
الكتلة	$m$	الكيلو غرام	kg
الزمن	$t$	الثانية	s
شدة التيار الكهربائي	$I$	الأمبير	A
الحرارة	$T$	الكالڤن	K
كمية المادة	$n$	المول	mol
شدة الضوء	$I$	الكاندېلا	cd

يمكن اشتقاق واهحدات جديدة من الواحدات الأساسية كجداء قوى مع العامل 1، تعطى أسماء مستقلة بذاتها (مثلاً، واط، جول، لوكس، نيوتن، الج)، شرط كتابة الوحدة المشتقة التي تتخذ اسم شخص بحرف كبير، والواحدات الأخرى تكتب بحرف صغير.

أحياناً يتطلب الاستخدام العملي لنظام الوحدات SI التعبير عن قيم عددية كبيرة جداً أو صغيرة جداً لذلك تم توليد أضعاف أو أجزاء لهذا النظام. هذه الأجزاء والأضعاف المستخدمة عالمياً هي:

الأصناف	الرمز	القيمة	الأجزاء	الرمز	القيمة
ديكا	da	$10^1$	ديسي	d	$10^{-1}$
هيكرو	h	$10^2$	سنتي	c	$10^{-2}$
كيلو	k	$10^3$	ميلي	m	$10^{-3}$
ميغا	M	$10^6$	ميكرو	$\mu$	$10^{-6}$
جيجا	G	$10^9$	نانو	n	$10^{-9}$
تيرا	T	$10^{12}$	بيكو	p	$10^{-12}$
بيتا	P	$10^{15}$	فيمتو	f	$10^{-15}$
اكسا	E	$10^{18}$	آتو	a	$10^{-18}$

يسمح استخدام الوحدات التي لها أسماء مستقلة فقط، وذلك لتكوين الأضعاف أو الأجزاء - وترفع الوحدة إلى أس وبذلك تصلح أيضاً للأضعاف والأجزاء دون أن توضع ضمن أقواس، أي تكون مثلاً  $\text{cm}^3$  بنفس المعنى لـ  $(0.01 \text{ m})^3$ .

## 1.1 الوحدات القياسية (النظامية)

تم خلال المؤتمرات المتعاقبة وضع قوانين ناظمة للوحدات القياسية وتم السماح باستخدامها في العلوم الهندسية والتقنية، وهذه القوانين هي:

1. نظام الوحدات SI (الوحدات الأساسية، المشتقة والمكملة لنظام وحدات SI)

2. الوحدات القانونية الأخرى.

بالإضافة لذلك وفي الفروع الخاصة من العلوم الهندسية والتقنية هناك بعض الوحدات الأخرى المسموح بها والمحددة بفترة زمنية معينة.

## 2.1 استخدام الواحدات الغريبة عن SI

في مرحلة الانتقال للتطبيق الشامل لنظام SI يكون من الممكن تحديد استخدام الواحدات القياسية الأخرى. يمكن أن تظهر الصعوبات عند تطبيق قيم الجداول، والمواد الأخرى. وذلك عندما - كما هو الآن في الواحدات العامة - تكون الواحدات SI غريبة. أيضاً في الكتاب المعروض يجب أن تستخدم وحدات SI الأجنبية في معظم المجالات.

بعد ذلك يمكن للقارئ بمساعدة جداول التحويل، الانتقال من وحدات SI وأيضاً بالعكس.

أعطيت في بعض الجداول قيم المواد لواحدات SI وكذلك أيضاً لـ SI الغريبة من أجل سهولة التحويل. عندما يتم اعتبار القاعدة الأساسية، "في جميع المعادلات والحسابات تكتب دائماً وحدات المقادير"، لا يحصل أي خطأ عند إجراء عملية التحويل.

## 3.1 تحويلات الواحدات

### القوة

N	kp	Mp	p	dyn
1	0.102	$1.02 \times 10^{-4}$	102	$10^5$
9.81	1	$10^{-3}$	$10^3$	$9.81 \times 10^5$
$9.81 \times 10^3$	$10^3$	1	$10^6$	$9.81 \times 10^8$
$9.81 \times 10^{-3}$	$10^{-3}$	$10^{-6}$	1	981
$10^{-3}$	$1.02 \times 10^{-6}$	$1.02 \times 10^{-9}$	$1.02 \times 10^{-3}$	1

### الطاقة، العمل

J	kpm	kWh	kcal	erg	eV
1	0.102	$2.78 \times 10^{-7}$	$2.39 \times 10^{-4}$	$10^7$	$6.24 \times 10^{18}$
9.81	1	$2.72 \times 10^{-6}$	$2.34 \times 10^{-3}$	$9.81 \times 10^7$	$6.12 \times 10^{19}$
$3.6 \times 10^6$	$3.67 \times 10^5$	1	860	$3.6 \times 10^{13}$	$2.25 \times 10^{23}$
4187	427	$1.16 \times 10^{-3}$	1	$4.19 \times 10^{10}$	$2.61 \times 10^{22}$
$10^{-7}$	$1.02 \times 10^{-8}$	$2.78 \times 10^{-14}$	$2.39 \times 10^{-11}$	1	$6.24 \times 10^{11}$
$1.6 \times 10^{-19}$	$1.63 \times 10^{-20}$	$4.45 \times 10^{-26}$	$3.83 \times 10^{-23}$	$1.6 \times 10^{-12}$	1

### الاستطاعة

W	kW	kpm s <sup>-1</sup>	PS	cal s <sup>-1</sup>	kcal h <sup>-1</sup>
1	$10^{-3}$	0.102	$1.36 \times 10^{-3}$	0.239	0.86
$10^3$	1	102	1.36	239	860
9.81	$9.81 \times 10^{-3}$	1	$1.33 \times 10^{-2}$	2.34	8.43
735.5	0.7355	75	1	175.7	632
4.187	$4.19 \times 10^{-3}$	0.427	$5.69 \times 10^{-3}$	1	3.6
1.16	$1.16 \times 10^{-3}$	0.119	$1.58 \times 10^{-3}$	0.278	1

### الضغط

Pa = N m <sup>-2</sup>	at = kp cm <sup>-2</sup>	atm	bar	Torr	mm WS = kp m <sup>-2</sup>
1	$1.02 \times 10^{-5}$	$9.87 \times 10^{-6}$	$10^{-5}$	$75 \times 10^{-4}$	0.102
$9.81 \times 10^4$	1	0.968	0.981	736	$10^4$
$1.013 \times 10^5$	1.033	1	1.013	760	$1.033 \times 10^4$
$10^5$	1.02	0.987	1	750	$1.02 \times 10^4$

$\text{Pa} = \text{N m}^{-2}$	$\text{at} = \text{kp}$ $\text{cm}^{-2}$	$\text{atm}$	$\text{bar}$	$\text{Torr}$	$\text{mm WS}$ $= \text{kp m}^{-2}$
133	$1.36 \times 10^{-3}$	$1.32 \times 10^{-3}$	$1.33 \times 10^{-3}$	1	13.6
9.81	$10^{-4}$	$9.68 \times 10^{-5}$	$9.81 \times 10^{-5}$	$7.36 \times 10^{-2}$	1

انتباه: عوامل التحويل مع دقة الحساب. القيم الدقيقة انظر جدول أهم الوحدات. إن وحدات SI هي في العمود الأول.

#### 4.1 جدول لأهم الوحدات

المضاعفات والأجزاء <sup>2</sup>	ملاحظات	العلالة	رمزها	الوحدة	الرمز	المقدار
+	SI		m	المتر (وحدة أساسية)	$l, s, r$	الطول
+	SI		$\text{m}^2$		A	المساحة
+	SI	$l = 10^{-3} \text{m}^3 = \text{dm}^3$	$\text{m}^3$	لتر	V	الحجم
	نظا		l			
+	SI	$\text{rad} = \text{m/m} = 1$	rad	راديان		الزاوية
-	نظا	$1^\circ = 1.745329 \times 10^{-3} \text{rad}$	°	قرا		
-	نظا	$1' = 1^\circ/60 =$ $2.908882 \times 10^{-4} \text{rad}$	'	الدقيقة	$\alpha, \beta,$ $\gamma, \dots$	
-	نظا	$1'' = 1'/60 =$ $4.848137 \times 10^{-6} \text{rad}$	"	الثانية		
+	SI	$\text{sr} = \text{m}^2/\text{m}^2 = 1$	Sr	ستيراديان	$\theta$	
						الزاوية الفضائية
+	SI		s	الثانية (وحدة أساسية)		الزمن
-	ges	$\text{min} = 60 \text{ s}$	min	الدقيقة		
-	ges	$\text{h} = 60 \text{ min} = 3600 \text{ s}$	h	الساعة	t	
-	ges	$\text{d} = 24 \text{ h} = 1440 \text{ min}$ $= 86400 \text{ s}$	d	اليوم		
+	SI	$\text{Hz} = \text{s}^{-1}$	Hz	هرتز	f	التردد
-	نظام	$\text{U/s} = \text{s}^{-1}$	U/s	دورة/ثانية		عدد المروا
-	نظا	$\text{U/min} = 1/\text{min} =$ $1.666667 \times 10^{-3}/\text{s}$	U/min	دورة/دقيقة	n	
-	نظا	$\text{U/h} = 1/\text{h} =$ $2.777778 \times 10^{-4}/\text{s}$	U/h	دورة/ساعة		
+	SI		$\frac{1}{\text{s}}$		$\omega$	
						التردد الزاوي



المضاعفات والأجزاء <sup>2</sup>	ملاحظات	العلامة	رمزها	الواحدة	الرمز	المقدار
+	SI		m/s		v	السرعة
/	نظا	km/h = 1/3.6 m/s	km/h			
/	SI		m/s <sup>2</sup>		a	المسارع
+	SI	rad/s = 1/s	rad/s		ω	السرعة الزاوية
+	SI	rad/s <sup>2</sup> = 1/s <sup>2</sup>	rad/s <sup>2</sup>		α	المسارع الزاوي
-	SI		kg	الكيلوغرام (وحدة أساسية)	m	الكتلة
+	نظا	g = 10 <sup>-3</sup> kg	g	الغرام		
+	نظا	t = 10 <sup>3</sup> kg	t	الطن		
/	SI		kg/m <sup>3</sup>			
/	(نظا)	kg/dm <sup>3</sup> = t/m <sup>3</sup> = 10 <sup>3</sup> kg/m <sup>3</sup>	kg/dm <sup>3</sup>		ρ	الكثافة
/	(نظا)	g/cm <sup>3</sup> = kg/dm <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>			
		= t/m <sup>3</sup> = 10 <sup>3</sup> kg/m <sup>3</sup>				
+	SI	N = kg.m/s <sup>2</sup>	N	نيوتن	F	القوة
-	(نظا)	kp = 9,80665 N	kp	كيلوغرام قلبي		
+	(نظا)	p = 9,80665 mN	p	غرام قلبي	F <sub>G</sub>	قوة الطالة
+	(نظا)	dyn = 10 <sup>-5</sup> N	dyn	دينة		
+	SI	N.m = kg.m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>	N.m		M	عزم القوة
/	(نظا)	kp.m = 9,80665 N.m	kp.m			عزم الدوران
/	(نظا)	kp.cm = 10 <sup>-3</sup> kp.m	kp.cm			
		= 9,80665 × 10 <sup>-3</sup> Nm				
/	(نظا)	p.cm = 10 <sup>-5</sup> kp.m	p.cm			
		= 98,0665 μNm				
+	SI	J = N.m = kg.m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>	J	جول	W, A	الصلابة
/	(نظا)	kpm = 9,80665 Nm	kp.m			
-	نظا	kwh = 3,6 MJ	kwh	كيلواط ساعي	W, E	الطاقة
+	(نظا)	erg = 10 <sup>-7</sup> J	erg	إرج		
+	zul	eV = 1,602 × 10 <sup>-19</sup> J	eV	الكبرون فولت		
+	(نظا)	cal = 4,1868 J	cal	كالوري		
+	SI	w = J/s = kg.m <sup>2</sup> /s <sup>3</sup>	W	واط	P	الاستطاعة
/	(نظا)	kpm/s = 9,80665 W	kp.m/s			
-	(zul)	PS = 735,49875 W		حصان بخاري		
+	SI	Pa = N/m <sup>2</sup> = kg/m.s <sup>2</sup>	Pa	باسكال	P	الضغط
-	(نظا)	at = 98,0665 kpa	at	الضغط الجوي		
		= 1 kp/cm <sup>2</sup> = 10 <sup>4</sup> kp/m <sup>2</sup>				
+	(نظا)	atm = 760 Torr	atm	الضغط الجوي القياسي		
		= 0.101325 MPa				
-	(نظا)	Torr = 133,3224 Pa	Torr	عمود ماء		
+	(نظا)	Bar = bar = 10 <sup>5</sup> Pa	bar	بار		

المقدار	الرمز	الواحدة	رمزها	الملاحظة	ملاحظات	المضاعفات والأجزاء <sup>2</sup>
		متر عمود ماء	mWS	$mws = 0.1 \text{ at}$ $= 9.80665 \text{ kpa}$	(نظا)	+
		مليمتر عمود ماء	mmWS	$mmWS = 10^{-4} \text{ at}$ $= 9.80665 \text{ Pa}$	(نظا)	-
الإجهاد	$\sigma$	باسكال	Pa	$Pa = N/m^2 = kg/ms^2$	SI	+
الميكانيكي			kp/mm <sup>2</sup>	$kp/mm^2 = 9.80665 \text{ MPa}$	(نظا)	/
عامل المرونة	E		kp/cm <sup>2</sup>	$Kp/cm^2 = 98.0665 \text{ kpa}$	(نظا)	/
عمل	K					
الاحتكاك						
عمل	G					
الانحناء						
إجهاد الشد	$\sigma$		N/m	$N/m = kg/s^2$	SI	/
السطحي						
اللزوجة		باسكال ثانية	Pa.s	$Pa.s = Na/m^2 = kg/ms$	SI	+
الديناميكية	$\eta$	برنت	P	$P = 0.1 \text{ N/m}^2$	(نظا)	+
		سينتي برنت	cP	$cP = 10^{-3} \text{ Na/m}^2 = 1 \text{ Pa.s}$	(نظا)	-
اللزوجة	$\nu$	سنتوكس	St	$St = 10^{-3} \text{ m}^2/s$	(نظا)	+
الحركية						
الفلج فرا	P	سينتي سينوكس	cSt	$cSt = 10^{-4} \text{ m}^2/s = mm^2/s$	(نظا)	-
الاصدم			N.s	$Na = kg \text{ m}^2/s$	SI	/
الفلج	L		N.m.s	$N \text{ ms} = kg \text{ m}^2/s$	SI	/
الديناميكي						
عزم العطالة	J		kg.m <sup>2</sup>		SI	/
الكثلي						
عزم عطالة	I		m <sup>4</sup>		SI	+
المساحة						
درجة الحرارة	T	كلفن (وحدة أساسية)	K		SI	+
المطالة	t	درجة مئوية	°C	$t = T - T_0 (T_0 = 273.15 \text{ K})$	(نظا)	-
		كلفن	K		SI	+
فرق درجة	$\Delta t$	غراد	grd		(نظا)	-
الحرارة	$\Delta T$	درجة مئوية	°C		نظا	-
		درجة كالفن	°K		(نظا)	-
كمية الحرارة	Q, W	جول	J	$J = Ws = N.m = kg.m^2/s^2$	SI	+
		كالوري	cal	$cal = 4.1868 \text{ J}$	(نظا)	+
		كيلو كالوري	kcal	$kcal = 4.1868 \text{ kJ}$	(نظا)	-
السعة	C		J/K	$J/K = Ws/k = Nm/K$ $= Kgm^2/s^2K$	SI	/
الحرورية						
الانحرابي	S		kcal/K	$Kcal/K = 4.1868 \text{ kJ/K}$	(نظا)	/

المضاعفات والأجزاء	ملاحظات	العلاقة	رمزها	الوحدة	الرمز	المقدار
/	SI	$J/kgK = m^2/s^2K$	$J/kg.K$			السطح
/	(نظا)	$Kcal/kgK = 4.1868 kJ/kgK$	$kcal/kg.K$		c	الحرارة النوعية
/	SI	$W/m^2K = kg/s^2K$	$w/m^2k$		$\alpha$	عامل انشطار
/	(نظا)	$Kcal/m^2hK = 1.163 W/m^2K$	$kcal/m^2hK$			الحرارة
/	(نظا)	$cal/cm sK = 4.1868 \times 10^4 W/m^2K$	$cal/cm sK$		k	عامل التوصيل الحراري
/	SI	$W/mK = kgm/s^2K$	$W/mK$			للمهية
/	(نظا)	$Kcal/m.h.K = 1.163 W/mK$	$kcal/mhK$		$\lambda$	التوصيل الحراري
+	SI		A	الأمبير (وحدة أساسية)	I	شدة التيار الكهربائي
+	SI	$C = As$	C	كولون	Q	كمية الكهرباء، الشحنة الكهربائية
+	SI	$V = W/A = kgm^2/s^2A$	V	الفولت	U	الجهد الكهربائي
+	SI	$\Omega = V/A = kgm^2/s^2A^2$	$\Omega$	أوم	R	المقاومة الكهربائية
+	SI	$S = 1/\Omega = A/V = s^2A^2/kg.m^2$	S	سيمنس	G	لمحة التوصيل الكهربائي (مقلوب المقاومة)
+	SI	$\Omega m = V.m/A = kg m^2/s^2A^2$	$\Omega m$	أوم.متر		المقاومة النوعية
-	نظا	$\Omega mm^2/m = 10^{-6} \Omega m = \mu\Omega m$	$\Omega mm^2/m$		p	
+	SI	$F = C/V = As/V = s^4A^2/kg.m^2$	F	الفاراد	C	سعة المكثف
/	SI	$C/m^2 = As/m^2$	$C/m^2$		D	كثافة الإزاحة
/	SI	$V/m = kg.m/s^2A$	$V/m$			شدة الحقل الكهربائي
/	(نظا)	$V/cm = 10^2 V/m$	$V/cm$		E	تأثير المجال الكهربائي
/	SI	$F/m = s^4A^2/kgm^2$	$F/m$		s	ثابت العزل الكهربائي

المقدار	الرمز	الواحدة	رمزها	العلاقة	ملاحظات	المضاعفات والأجزاء <sup>2</sup>
شدة الحقل المغناطيسي	H	أورستد	A/m Oe	$Oe = 10/4\pi \text{ A/cm}$ $= 10^3/4\pi \text{ A/m}$ $= 79.5775 \text{ A/m}$	SI mz	/
التساقط المغناطيسي	$\Phi$	ويبر ماكسويل	Wb M	$Wb = Vs = \text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2 \cdot \text{A}$ $M = 10^{-8} \text{ Wb}$	SI mz	+
التحريض المغناطيسي	B	تسلا غوس	T G	$T = \text{Wb/m}^2 = \text{Vs/A}$ $= \text{kg/s}^2 \cdot \text{A}$ $G = 10^{-4} \text{ T}$	SI mz	+
شدة الحريض	L	هنري	H	$H = \text{Wb/A}$ $VS/A = \text{Kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2 \cdot \text{A}^2$	SI	+
لابلية التساقط	$\mu$		H/m	$H/\text{m} = \text{Wb/A} \cdot \text{m}$ $= \text{Vs/A} \cdot \text{m} = \text{kg} \cdot \text{m/s}^2 \cdot \text{A}^2$	SI	/
ضغط الصوت	P	باسكال	Pa	$Pa = \text{N/m}^2$ $= \text{kg/m} \cdot \text{s}^2$	SI (نظا)	+
شدة الصوت	J		$\mu\text{bar}$ $\text{W/m}^2$	$\mu\text{bar} = 0.1 \text{ Pa}$ $\text{W/m}^2 = \text{J/s} \cdot \text{m}^2 = \text{kg/s}^3$	SI	+
شدة الضوء	I	كندل (وحدة أساسية)	cd		SI	+
كتافة الإضاءة	L		$\text{cd/m}^2$ stilb Apostilb	$\text{sb} = \text{cd/cm}^2 = 10^4 \text{ cd/m}^2$ $\text{asb} = 1/\pi \text{ cd/m}^2$ $= 0.31831 \text{ cd/m}^2$	SI (نظا) zel	/ + -
التساقط الضوئي	$\Phi$	لومن	lm	$\text{lm} = \text{cd} \cdot \text{sr}$	SI	+
شدة الإضاءة	E	لوكس	lx	$\text{lx} = \text{lm/m}^2 = \text{Cd} \cdot \text{sr/m}^2$	SI	+
كمية الأيونات	X	كولون/كغ رونتجن	C/kg R	$C/\text{kg} = \text{As/kg}$ $R = 2.58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$	SI (نظا)	/ +
كمية الطاقة	D	غراي راد	Gy rd	$Gy = \text{J/kg} = \text{m}^2/\text{s}^2$ $\text{rd} = 10^{-3} \text{ Gy}$	SI (نظا)	+
الإشعاع	A	بيكريل كوري	Bq Ci	$\text{Bq} = 1/\text{s}$ $\text{Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$	SI (نظا)	+
كمية المادة	n	مول (وحدة أساسية)	mol		SI	/
الكتلة المولية	M		kg/mol		SI	/
الحجم المولي	$V_m$		$\text{m}^3/\text{mol}$		SI	/
سعة الحرارة المولية	$C_m$		J/mol.k	$\text{J/mol} \cdot \text{K} = \text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2 \cdot \text{mol} \cdot \text{K}$	SI	/

(1) ملاحظات

SI : واحدة SI (أساس الواحدة أو الواحدة المشتقة)

نظا: واحدة نظامية

(نظا) : واحدة نظامية (محددة حتى زمن معين)

all : الواحدة المسموح بها (فقط في مجالات خاصة)

(all) : الواحدة المسموح بها (فقط في مجالات خاصة وحتى زمن معين)

n.all : واحدة غير مسموح بها

(2) الرموز والمضاعفات والأجزاء

+ : مسموح بها - : غير مسموح بها

/ : واحدة مركبة، انظر الواحدات الفرعية.

$n^2, n^3, \sqrt{n}, \frac{1}{4} \pi n^2, \pi n, \lg n$  für  $n = 1 \dots 25$

$n$	$n^2$	$n^3$	$\sqrt{n}$	$\frac{1}{4} \pi n^2$	$\pi n$	$\lg n$
1	1	1	1,000	0,785	3,142	0,0000
2	4	8	1,414	3,142	6,283	0,3010
3	9	27	1,732	7,069	9,425	0,4771
4	16	64	2,000	12,57	12,57	0,6021
5	25	125	2,236	19,63	15,71	0,6990
6	36	216	2,449	28,27	18,85	0,7782
7	49	343	2,646	38,48	21,99	0,8451
8	64	512	2,828	50,27	25,13	0,9031
9	81	729	3,000	63,62	28,27	0,9542
10	100	1000	3,162	78,54	31,42	1,0000
11	121	1331	3,317	95,03	34,56	1,0414
12	144	1728	3,464	113,1	37,70	1,0792
13	169	2197	3,606	132,7	40,84	1,1139
14	196	2744	3,742	153,9	43,98	1,1461
15	225	3375	3,873	176,7	47,12	1,1761
16	256	4096	4,000	201,1	50,27	1,2041
17	289	4913	4,123	227,0	53,41	1,2304
18	324	5832	4,243	254,5	56,55	1,2553
19	361	6859	4,358	283,5	59,69	1,2788
20	400	8000	4,472	314,2	62,83	1,3010
21	441	9261	4,583	346,4	65,97	1,3222
22	484	10648	4,690	380,1	69,12	1,3424
23	529	12167	4,796	415,5	72,26	1,3617
24	576	13824	4,899	452,4	75,40	1,3802
25	625	15625	5,000	490,9	78,54	1,3979
$n$	$n^2$	$n^3$	$\sqrt{n}$	$\frac{1}{4} \pi n^2$	$\pi n$	$\lg n$

$n^2, n^3, \sqrt{n}, \frac{1}{4} \pi n^2, \pi n, \lg n$  für  $n = 26 \dots 50$

$n$	$n^2$	$n^3$	$\sqrt{n}$	$\frac{1}{4} \pi n^2$	$\pi n$	$\lg n$
26	676	17576	5,099	530,9	81,68	1,4150
27	729	19683	5,196	572,6	84,82	1,4314
28	784	21952	5,292	615,8	87,96	1,4472
29	841	24389	5,385	660,5	91,11	1,4624
30	900	27000	5,477	706,9	94,25	1,4771
31	961	29791	5,568	754,8	97,39	1,4914
32	1024	32768	5,657	804,2	100,5	1,5051
33	1089	35937	5,745	855,3	103,7	1,5185
34	1156	39304	5,831	907,9	106,8	1,5315
35	1225	42875	5,916	962,1	110,0	1,5441
36	1296	46656	6,000	1018	113,1	1,5563
37	1369	50653	6,083	1075	116,2	1,5682
38	1444	54872	6,164	1134	119,4	1,5798
39	1521	59319	6,245	1195	122,5	1,5911
40	1600	64000	6,325	1257	125,7	1,6021
41	1681	68921	6,403	1320	128,8	1,6128
42	1764	74088	6,481	1385	131,9	1,6232
43	1849	79507	6,557	1452	135,1	1,6335
44	1936	85184	6,633	1521	138,2	1,6435
45	2025	91125	6,708	1590	141,4	1,6532
46	2116	97336	6,782	1662	144,5	1,6628
47	2209	103823	6,856	1735	147,7	1,6721
48	2304	110592	6,928	1810	150,8	1,6812
49	2401	117649	7,000	1886	153,9	1,6902
50	2500	125000	7,071	1963	157,1	1,6990
$n$	$n^2$	$n^3$	$\sqrt{n}$	$\frac{1}{4} \pi n^2$	$\pi n$	$\lg n$

$$n^2, n^3, \sqrt{n}, \frac{1}{2} \pi n^2, \pi n, \lg n \text{ für } n = 51 \dots 75$$

$n$	$n^2$	$n^3$	$\sqrt{n}$	$\frac{1}{2} \pi n^2$	$\pi n$	$\lg n$
51	2601	132651	7,141	2043	160,2	1,7076
52	2704	140608	7,211	2124	163,4	1,7160
53	2809	148877	7,280	2206	166,5	1,7243
54	2916	157464	7,348	2290	169,6	1,7324
55	3025	166375	7,416	2376	172,8	1,7404
56	3136	175616	7,483	2463	175,9	1,7482
57	3249	185193	7,550	2552	179,1	1,7559
58	3364	195112	7,616	2642	182,2	1,7634
59	3481	205379	7,681	2734	185,4	1,7709
60	3600	216000	7,746	2827	188,5	1,7782
61	3721	226981	7,810	2922	191,6	1,7853
62	3844	238328	7,874	3019	194,8	1,7924
63	3969	250047	7,937	3117	197,9	1,7993
64	4096	262144	8,000	3217	201,1	1,8062
65	4225	274625	8,062	3318	204,2	1,8129
66	4356	287496	8,124	3421	207,3	1,8195
67	4489	300763	8,185	3526	210,5	1,8261
68	4624	314432	8,246	3632	213,6	1,8325
69	4761	328509	8,307	3739	216,8	1,8388
70	4900	343000	8,367	3848	219,9	1,8451
71	5041	357911	8,426	3959	223,1	1,8513
72	5184	373248	8,485	4072	226,2	1,8573
73	5329	389017	8,544	4185	229,3	1,8633
74	5476	405224	8,602	4301	232,5	1,8692
75	5625	421875	8,660	4418	235,6	1,8751
$n$	$n^2$	$n^3$	$\sqrt{n}$	$\frac{1}{2} \pi n^2$	$\pi n$	$\lg n$



$$n^2, n^3, \sqrt{n}, \frac{1}{2} \pi n^2, \pi n, \lg n \text{ for } n = 76 \dots 100$$

$n$	$n^2$	$n^3$	$\sqrt{n}$	$\frac{1}{2} \pi n^2$	$\pi n$	$\lg n$
76	5776	438976	8,718	4536	238,8	1,8808
77	5929	456533	8,775	4657	241,9	1,8865
78	6084	474352	8,832	4778	245,0	1,8921
79	6241	493039	8,888	4902	248,2	1,8976
80	6400	512000	8,944	5027	251,3	1,9031
81	6561	531441	9,000	5153	254,5	1,9085
82	6724	551368	9,055	5281	257,6	1,9138
83	6889	571787	9,110	5411	260,8	1,9191
84	7056	592704	9,165	5542	263,9	1,9243
85	7225	614125	9,220	5675	267,0	1,9294
86	7396	636056	9,274	5809	270,2	1,9345
87	7569	658503	9,327	5945	273,3	1,9395
88	7744	681472	9,381	6082	276,5	1,9445
89	7921	704969	9,434	6221	279,6	1,9494
90	8100	729000	9,487	6362	282,7	1,9542
91	8281	753571	9,539	6504	285,9	1,9590
92	8464	778688	9,592	6648	289,0	1,9638
93	8649	804337	9,644	6793	292,2	1,9685
94	8836	830584	9,695	6940	295,3	1,9731
95	9025	857375	9,747	7088	298,5	1,9777
96	9216	884736	9,798	7238	301,6	1,9823
97	9409	912673	9,849	7390	304,7	1,9868
98	9604	941192	9,899	7543	307,9	1,9912
99	9801	970299	9,950	7698	311,0	1,9956
100	10000	1000000	10,000	7854	314,2	2,0000
$n$	$n^2$	$n^3$	$\sqrt{n}$	$\frac{1}{2} \pi n^2$	$\pi n$	$\lg n$

$\arcsin \alpha, \sin \alpha, \tan \alpha, \cot \alpha, \cos \alpha$  für  $\alpha = 0 \dots 90^\circ$

$\alpha$	$\arcsin \alpha$	$\sin \alpha$	$\tan \alpha$	$\cot \alpha$	$\cos \alpha$		
$0^\circ$	0,0000	0,0000	0,0000	$\infty$	1,0000	1,5708	$90^\circ$
$0^\circ 10'$	0,0029	0,0029	0,0029	343,8	1,0000	1,5679	$89^\circ 50'$
$0^\circ 20'$	0,0058	0,0058	0,0058	171,9	1,0000	1,5650	$89^\circ 40'$
$0^\circ 30'$	0,0087	0,0087	0,0087	114,6	1,0000	1,5621	$89^\circ 30'$
$0^\circ 40'$	0,0116	0,0116	0,0116	85,94	0,9999	1,5592	$89^\circ 20'$
$0^\circ 50'$	0,0145	0,0145	0,0145	68,75	0,9999	1,5563	$89^\circ 10'$
$1^\circ$	0,0175	0,0175	0,0175	57,29	0,9998	1,5533	$89^\circ$
$1^\circ 10'$	0,0204	0,0204	0,0204	49,10	0,9998	1,5504	$88^\circ 50'$
$1^\circ 20'$	0,0233	0,0233	0,0233	42,96	0,9997	1,5475	$88^\circ 40'$
$1^\circ 30'$	0,0262	0,0262	0,0262	38,19	0,9997	1,5446	$88^\circ 30'$
$1^\circ 40'$	0,0291	0,0291	0,0291	34,37	0,9996	1,5417	$88^\circ 20'$
$1^\circ 50'$	0,0320	0,0320	0,0320	31,24	0,9995	1,5388	$88^\circ 10'$
$2^\circ$	0,0349	0,0349	0,0349	28,64	0,9994	1,5359	$88^\circ$
$2^\circ 10'$	0,0378	0,0378	0,0378	26,43	0,9993	1,5330	$87^\circ 50'$
$2^\circ 20'$	0,0407	0,0407	0,0407	24,34	0,9992	1,5301	$87^\circ 40'$
$2^\circ 30'$	0,0436	0,0436	0,0437	22,90	0,9990	1,5272	$87^\circ 30'$
$2^\circ 40'$	0,0465	0,0465	0,0466	21,47	0,9989	1,5243	$87^\circ 20'$
$2^\circ 50'$	0,0495	0,0494	0,0495	20,21	0,9988	1,5213	$87^\circ 10'$
$3^\circ$	0,0524	0,0523	0,0524	19,08	0,9986	1,5184	$87^\circ$
$3^\circ 10'$	0,0553	0,0552	0,0553	18,07	0,9985	1,5155	$86^\circ 50'$
$3^\circ 20'$	0,0582	0,0581	0,0582	17,17	0,9983	1,5126	$86^\circ 40'$
$3^\circ 30'$	0,0611	0,0610	0,0612	16,35	0,9981	1,5097	$86^\circ 30'$
$3^\circ 40'$	0,0640	0,0640	0,0641	15,60	0,9980	1,5068	$86^\circ 20'$
$3^\circ 50'$	0,0669	0,0669	0,0670	14,92	0,9978	1,5039	$86^\circ 10'$
$4^\circ$	0,0698	0,0698	0,0699	14,30	0,9976	1,5010	$86^\circ$
		$\cos \alpha$	$\cot \alpha$	$\tan \alpha$	$\sin \alpha$	$\arcsin \alpha$	$\alpha$

$\alpha$	$\text{arc } \alpha$	$\sin \alpha$	$\tan \alpha$	$\cot \alpha$	$\cos \alpha$		
4° 10'	0,0727	0,0727	0,0729	13,73	0,9974	1,4981	85° 50'
4° 20'	0,0756	0,0756	0,0758	13,20	0,9971	1,4952	85° 40'
4° 30'	0,0785	0,0785	0,0787	12,71	0,9969	1,4923	85° 30'
4° 40'	0,0814	0,0814	0,0816	12,25	0,9967	1,4893	85° 20'
4° 50'	0,0844	0,0843	0,0846	11,83	0,9964	1,4864	85° 10'
5°	0,0873	0,0872	0,0875	11,43	0,9962	1,4835	85°
6°	0,1047	0,1045	0,1051	9,514	0,9945	1,4661	84°
7°	0,1222	0,1219	0,1228	8,144	0,9925	1,4486	83°
8°	0,1396	0,1392	0,1405	7,115	0,9903	1,4312	82°
9°	0,1571	0,1564	0,1584	6,314	0,9877	1,4137	81°
10°	0,1745	0,1736	0,1763	5,671	0,9848	1,3963	80°
11°	0,1920	0,1908	0,1944	5,145	0,9816	1,3788	79°
12°	0,2094	0,2079	0,2126	4,705	0,9781	1,3614	78°
13°	0,2269	0,2250	0,2309	4,331	0,9744	1,3439	77°
14°	0,2443	0,2419	0,2493	4,011	0,9703	1,3265	76°
15°	0,2618	0,2588	0,2679	3,732	0,9659	1,3090	75°
16°	0,2793	0,2756	0,2867	3,487	0,9513	1,2915	74°
17°	0,2967	0,2924	0,3057	3,271	0,9563	1,2741	73°
18°	0,3142	0,3090	0,3249	3,078	0,9511	1,2566	72°
19°	0,3316	0,3256	0,3443	2,904	0,9455	1,2392	71°
20°	0,3491	0,3420	0,3640	2,747	0,9397	1,2217	70°
		$\cos \alpha$	$\cot \alpha$	$\tan \alpha$	$\sin \alpha$	$\text{arc } \alpha$	$\alpha$

$\alpha$	$\text{arc } \alpha$	$\sin \alpha$	$\tan \alpha$	$\cot \alpha$	$\cos \alpha$		
21°	0,3665	0,3584	0,3839	2,605	0,9336	1,2043	69°
22°	0,3840	0,3746	0,4040	2,475	0,9272	1,1868	68°
23°	0,4014	0,3907	0,4245	2,356	0,9205	1,1694	67°
24°	0,4189	0,4067	0,4452	2,246	0,9135	1,1519	66°
25°	0,4363	0,4226	0,4663	2,145	0,9063	1,1345	65°
26°	0,4538	0,4384	0,4877	2,050	0,8988	1,1170	64°
27°	0,4712	0,4540	0,5095	1,963	0,8910	1,0996	63°
28°	0,4887	0,4695	0,5317	1,881	0,8829	1,0821	62°
29°	0,5061	0,4848	0,5543	1,804	0,8746	1,0647	61°
30°	0,5236	0,5000	0,5774	1,732	0,8660	1,0472	60°
31°	0,5411	0,5150	0,6009	1,664	0,8572	1,0297	59°
32°	0,5585	0,5299	0,6249	1,600	0,8480	1,0123	58°
33°	0,5760	0,5446	0,6494	1,540	0,8387	0,9948	57°
34°	0,5934	0,5592	0,6745	1,483	0,8290	0,9774	56°
35°	0,6109	0,5736	0,7002	1,428	0,8192	0,9599	55°
36°	0,6283	0,5878	0,7265	1,376	0,8090	0,9425	54°
37°	0,6458	0,6018	0,7536	1,327	0,7986	0,9250	53°
38°	0,6632	0,6157	0,7813	1,280	0,7880	0,9076	52°
39°	0,6807	0,6293	0,8098	1,235	0,7771	0,8901	51°
40°	0,6981	0,6428	0,8391	1,192	0,7660	0,8727	50°
41°	0,7156	0,6561	0,8693	1,150	0,7547	0,8552	49°
42°	0,7330	0,6691	0,9004	1,111	0,7431	0,8378	48°
43°	0,7505	0,6820	0,9325	1,072	0,7314	0,8203	47°
44°	0,7679	0,6947	0,9657	1,036	0,7193	0,8029	46°
45°	0,7854	0,7071	1,0000	1,000	0,7071	0,7854	45°
		$\cos \alpha$	$\cot \alpha$	$\tan \alpha$	$\sin \alpha$	$\text{arc } \alpha$	$\alpha$

## أهم الثوابت المستخدمة

lg n	n	المقدار	lg n	n	المقدار
0,23856	1,73205	$\sqrt{3}$	0,15051	1,41421	$\sqrt{2}$
0,50285-1	0,31831	$1 : \pi$	0,49715	3,14159	$\pi$ <sup>2)</sup>
0,99430	9,86960	$\pi^2$	0,89509-1	0,78540	$\frac{\pi}{4}$
0,16572	1,46459	$\sqrt[3]{\pi}$	0,24857	1,77245	$\sqrt{\pi}$
0,56571-1	0,36788	$1 : e$	0,43429	2,71828	e
0,36222	2,30259	$\frac{1}{M_{10}} = \ln 10$	0,63778-1	0,43429	$M_{10} = \lg e$
0,49576	3,13156	$\sqrt[5]{e}$	0,99152	9,80663	$e^{10}$ <sup>4)</sup>

## 2- علم الحساب والجبر الخطي

### 1-2 المجموعات

تعريف: تعرف المجموعة بأنها جمع مواضيع مختلفة، ومنفردة، (عناصر المجموعة) لوحدة كلية. وغالباً ما يرمز للمجموعات بأحرف كبيرة، مثلاً: A، B، M، ...، N، M<sub>1</sub>، M<sub>2</sub>، ...، أما عناصر المجموعة فيرمز لها بأحرف صغيرة مثلاً: a، b، ...، x، y، ...، x<sub>1</sub>، x<sub>2</sub>

$a \in A$  يعني أن a هو عنصر من A

$b \notin A$  يعني أن b هو ليس عنصر من A

$A = \phi$  يعني أن A لا تحتوي على أي عنصر، المجموعة الخالية.

تكوين المجموعة (مزاياء)

1. من خلال تعداد العناصر، مثلاً:  $\{M_1 = \{-1, 0, +1\}\}$ ،  $\{M_2 = \{0, 2, 4, \dots, 2n, \dots\}\}$

2. من خلال خواص المجموعة، مثلاً:  $M_2 = \{2n \mid n \in N\}$  مجموعة الأعداد الطبيعية.

## العلاقات بين المجموعات

المجموعة الجزئية :  $A \subseteq B$  :  $A$  هي مجموعة جزئية (محتواة) في  $B$  أو  $B$  هي المجموعة التي تحتوي  $A$ . وكل عنصر من  $A$  هو عنصر من  $B$  ( $A \subseteq B$ ) مجموعة جزئية حقيقية:  $B$  تحتوي على الأقل عنصر واحد، والذي لا ينتمي إلى المجموعة  $A$ .

المساواة:  $B = A$ ، كل عنصر في المجموعة  $A$  هو عنصر في المجموعة  $B$ ، والعكس، هذا يعني أن المساواة صحيحة  $A \in a \Leftrightarrow B \in a$ .

## العمليات في المجموعات



الشكل 2a

الاتحاد:  $A \cup B$  (اجتماع  $B$ ) هو مجموع كل العناصر التي تنتمي إلى  $A$  أو  $B$  (انظر الشكل 2a أو 2b) هذا يعني  $a \in A \cup B \Leftrightarrow a \in A \text{ أو } a \in B$



الشكل 2b

التقاطع:  $A \cap B$  (تقاطع  $B$ )، كل العناصر التي تنتمي إلى  $A$  و  $B$  (شكل 3) هذا يعني  $a \in A \cap B \Leftrightarrow a \in A \text{ و } a \in B$



الشكل 3

الفرق:  $A \setminus B$  (فرق من  $A$  و  $B$ ): مجموعة كل العناصر التي تنتمي إلى  $A$  وليس إلى  $B$  (شكل 4) هذا يعني:  $a \in A \setminus B \Leftrightarrow a \in A \text{ و } a \notin B$



الشكل 4

الجداء:  $A \times B$  ( $A$  ضرب  $B$ ) مجموعة كل العناصر الزوجية المرتبة  $(a, b)$  مع  $a \in A$  و  $b \in B$ .

## 2-2 المتطابقات الشهيرة

$$(a + b)^2 = a^2 + 2ab + b^2$$

$$(a - b)^2 = a^2 - 2ab + b^2$$

$$a^2 - b^2 = (a + b)(a - b)$$

$$(a + b + c)^2 = a^2 + 2ab + 2ac + b^2 + 2bc + c^2$$

$$(a \pm b)^3 = a^3 \pm 3a^2b + 3ab^2 \pm b^3$$

$$(a + b)^n = a^n + \frac{n}{1} a^{n-1} b + \frac{n(n-1)}{1 \times 2} a^{n-2} b^2 + \frac{n(n-1)(n-2)}{1 \times 2 \times 3} a^{n-3} b^3 + \dots + b^n$$

$$a^3 + b^3 = (a + b)(a^2 - ab + b^2)$$

$$a^3 - b^3 = (a - b)(a^2 + ab + b^2)$$

$$a^n - b^n = (a - b)(a^{n-1} + a^{n-2}b + a^{n-3}b^2 + \dots + ab^{n-2} + b^{n-1})$$

## 3-2 القوى

$$a^n = \underbrace{a.a.a \dots a}_n \quad \text{تعريف:}$$

$$(\pm a)^{2n} = + a^{2n} \quad , \quad (\pm a)^{2n-1} = \pm a^{2n-1} \quad \text{فك الأقواس (علامة الناقص والزائد):}$$

$$a^1 = a \quad 1^n = 1 \quad 0^n = 0 \quad \text{حالات خاصة:}$$

$$a^0 = 1 \quad \text{تعريفات موسعة:}$$

$$a^{-n} = \frac{1}{a^n} \quad \text{وذلك من أجل } (a \neq 0)$$

قوانين القوى:

$$a^4 \cdot a^3 = a^7 \quad \text{مثلاً} \quad a^m \cdot a^n = a^{m+n}$$

$$a^4 : a^3 = a \quad \text{مثلاً} \quad a^m : a^n = a^{m-n}$$

$$a^3 \cdot b^3 = (a \cdot b)^3 \quad \text{مثلاً} \quad a^n \cdot b^n = (ab)^n$$

$$a^3 : b^3 = (a/b)^3 \quad \text{مثلاً} \quad a^n : b^n = (a/b)^n$$

$$(a^2)^3 = (a^3)^2 = a^6 \quad \text{مثلاً} \quad (a^m)^n = (a^n)^m = a^{m \cdot n}$$

## 4.2 الجذور

تعريف:  $(\sqrt[n]{a})^n = a$  وذلك من أجل  $a \geq 0$

يمكن إعادة الحساب إلى قوى كسرية في حالة الجداء، التقسيم، والرفع إلى قوة أو الجذر وكذلك إضافة أو اختصار الجذور:

$$\sqrt[n]{a} = a^{\frac{1}{n}} \quad (a \geq 0)$$

قوانين الجذور:

$$\sqrt[n]{a} \cdot \sqrt[n]{b} = a^{\frac{1}{n}} \cdot b^{\frac{1}{n}} = (ab)^{\frac{1}{n}} = \sqrt[n]{ab}$$

$$\sqrt[n]{a} : \sqrt[n]{b} = a^{\frac{1}{n}} : b^{\frac{1}{n}} = \left(\frac{a}{b}\right)^{\frac{1}{n}} = \sqrt[n]{\frac{a}{b}}$$

$$(\sqrt[n]{a})^m = \left(a^{\frac{1}{n}}\right)^m = a^{\frac{m}{n}} = \sqrt[n]{a^m}$$

$$\sqrt[m]{\sqrt[n]{a}} = \left(a^{\frac{1}{n}}\right)^{\frac{1}{m}} = a^{\frac{1}{mn}} = \sqrt[mn]{a}$$

$$\sqrt[n]{\sqrt[m]{a}} = a^{\frac{mp}{np}} = a^{\frac{m}{n}} = \sqrt[n]{a^m}$$

## 5.2 اللوغاريتمات

تعريف:  $a^n = b$  عندما  $a > 0$  وذلك من أجل  $n = \log_a b$



أنظمة اللوغاريتم:

النظام العشري أو اللوغاريتم الأساسي،

الأساس  $a = 10$

$$10^n = b \text{ عندما } \log_{10} b = \log b = n$$

اللوغاريتم الطبيعي: ذو الأساس  $a = e$

$$e^n = b \text{ عندما } \log_e b = \ln b = n$$

قوانين اللوغاريتمات:

$$\log (b.c) = \log b + \log c$$

$$\log \frac{b}{c} = \log b - \log c$$

$$\log c^n = n . \log c$$

$$\log \sqrt[n]{c} = \frac{1}{n} . \log c$$

حالات خاصة:

$$a^{\log_a b} = b; 10^{\lg b} = b; e^{\ln b} = b$$

$$\log_a (a^n) = n; \log 10^n = n; \ln e^n = n$$

$$\log_a a = 1; \log 10 = 1; \ln e = 1$$

$$\log_a 1 = 0; \log 1 = 0; \ln 1 = 0$$

التحويل:

من النظام العشري إلى النظام الطبيعي

$$\ln a = \ln 10 . \lg a; \ln 10 = \frac{1}{M_{10}} \approx 2.3026$$

من النظام الطبيعي إلى النظام العشري

$$\log a = \lg e \cdot \ln a; \lg e = M_{10} \approx 0.4343$$

دلائل اللوغاريتمات:

$$\lg 1 = 0; \lg 0.1 = 0.00 - 1 = 9.00 - 10$$

$$\lg 10 = 1; \lg 0.01 = 0.00 - 2 = 8.00 - 10$$

$$\lg 100 = 2; \lg 0.001 = 0.00 - 3 = 7.00 - 10$$

$$\lg 1000 = 3;$$

## 6.2 الأعداد العقدية

الوحدة التخيلية:  $i = \sqrt{-1}$

تعريف:

$$i^2 = -1$$

$$i^3 = -i, i^4 = +1, i^5 = +i, \dots; i^0 = +1$$

$$\left. \begin{array}{l} i^{4n} = +1, i^{4n+1} = +i, \\ i^{4n+2} = -1, i^{4n+3} = -i \end{array} \right\} n = 0, 1, 2, \dots$$

العدد العقدي:  $a + bi$  (حيث  $a$  القسم الحقيقي،  $b$  القسم التخيلي)

نسمى العددين العقديان  $a + bi$  و  $a - bi$ ، اللذان يختلفان فقط في إشارة القسم التخيلي، بالعددين العقديان المترافقان

$$(a + bi)(a - bi) = a^2 + b^2$$

شكل أولر العقدي (Euler):

$$(a \pm bi) = r(\cos \varphi \pm i \sin \varphi) = r e^{\pm i\varphi}$$

العلاقات:

$$a = r \cos \varphi \quad r = \sqrt{a^2 + b^2}$$

$$b = r \sin \varphi \quad \tan \varphi = \frac{b}{a}$$

## 7.2 السلاسل

### 1.7.2 السلاسل العددية

في سلسلة عددية  $a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n$  يكون الفرق  $d$  بين أي عنصرين متتاليين ثابت.

$$a_2 - a_1 = a_3 - a_2 = \dots = a_n - a_{n-1} = d$$

كل عنصر في سلسلة عددية هو وسط حسابي للعنصرين المجاورين له. (واقع بينهما).

$$a_k = \frac{a_{k+1} + a_{k-1}}{2}$$

العنصر النهائي:

$$a_n = a_1 + (n-1)d$$

المجموع:

$$s_n = \frac{n}{2}(a_1 + a_n) = \frac{n}{2}[2a_1 + (n-1)d]$$

مجموع الأعداد الموزونة الصحيحة:

$$1 + 2 + 3 + \dots + n = \sum_{k=1}^{k=n} k = \frac{n(n+1)}{2}$$

مجموع الأعداد المربعة:

$$1^2 + 2^2 + \dots + n^2 = \sum_{k=1}^{k=n} k^2 = \frac{n(n+1)(2n+1)}{6}$$

مجموع الأعداد المكعبة:

$$1^3 + 2^3 + 3^3 + \dots + n^3 = \sum_{k=1}^{k=n} k^3 = \frac{n^2(n+1)^2}{4} = (1 + 2 + \dots + n)^2 = \left( \sum_{k=1}^{k=n} k \right)^2$$

## 2.7.2 السلاسل الهندسية

في سلسلة هندسية  $a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n$  تكون نسبة أي عنصرين متتاليين  $q$  ثابتة..

$$\frac{a_2}{a_1} = \frac{a_3}{a_2} = \dots = \frac{a_n}{a_{n-1}} = q$$

كل عنصر في سلسلة هندسية هو وسط هندسي للعنصرين المجاورين له (واقع بينهما).

$$a_k = \sqrt{a_{k+1} a_{k-1}}$$

العنصر النهائي:

$$a_n = a_1 q^{n-1}$$

المجموع:

$$s_n = a_1 \frac{q^n - 1}{q - 1}$$

وذلك من أجل  $|q| \geq 1$  أي  $|q| \neq 1$ .

بمجموع السلسلة الهندسية اللانهائية تحت شرط:  $|q| < 1$ .

$$s = \frac{a_1}{1 - q}$$

## 8.2 المعينات

تعريف: إن المعينة  $D$  ذات  $n$  سلسلة هي تابع منطقي كامل من المتحولات  $a_1, a_2, \dots, a_n$  والمنظم في جدول مؤلف من  $n$  سطر و  $n$  عمود.

$$D = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{vmatrix}$$

قيمة المعينة ذات الترتيب الثاني هي:

$$D = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{vmatrix} = a_{11}a_{22} - a_{21}a_{12}$$

قيمة المعينة ذات الترتيب الثلاثي (قانون Sarrus):

$$D = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix} = a_{11}a_{22}a_{33} + a_{12}a_{23}a_{31} + a_{13}a_{21}a_{32} - a_{31}a_{22}a_{13} - a_{32}a_{23}a_{11} - a_{33}a_{21}a_{12}$$

لا تتغير قيمة المعينة، وذلك عندما يتم:

١. تبديل الأعمدة مع الأسطر (انعكاس المضلع الأساسي):

$$\begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{21} & a_{31} \\ a_{12} & a_{22} & a_{32} \\ a_{13} & a_{23} & a_{33} \end{vmatrix}$$

٢. تغيير المعينة (إضافة أحد الأسطر، والأعمدة، والتي يكون لها نقطة التقاطع مساوية للواحد، والعناصر الأخرى للعمود (سطر) هي صفر، في حين أن سطر (عمود)، قيمة لا على التعيين، مثلاً:

$$\begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ x & a_{11} & a_{12} \\ y & a_{21} & a_{22} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & x & y \\ 0 & a_{11} & a_{12} \\ 0 & a_{21} & a_{22} \end{vmatrix}$$

٣. بإضافة أحد عناصر السلسلة (أسطر أو أعمدة)، بعد ضربه بالعامل  $\lambda$ ، لها سلسلة موازية مثلاً:

$$\begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} + \lambda a_{31} & a_{22} + \lambda a_{32} & a_{23} + \lambda a_{33} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix}$$

تأخذ المعينة قيمة الصفر عندما:

1. كل عناصر سلسلة (عمود أو سطر) تساوي الصفر، مثلاً:

$$\begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ 0 & 0 & 0 \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix} = 0$$

2. عناصر السلسلة بموجب عناصر سلسلة موازية تساوي أو مضروبة بنسبة معينة:

$$\begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ ma_{11} & m_{12} & ma_{13} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix} = 0$$

تتغير إشارة المعينة، عندما يتم تبادل سلسلتين متوازيتين مع بعضهما، تضرب معينة بعامل  $\lambda$  عندما نستطيع أن نضرب هذا العامل بكل عناصر سطر من المعينة (وبالعكس): يمكن إخراج عامل خارج المعينة عندما يكون هذا العامل مضروباً بكل عناصر المعينة

$$\lambda \cdot \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \lambda a_{11} & \lambda a_{12} & \lambda a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix}$$

نحصل على المعينة المختصرة المرتبة  $\alpha_{ik}$  ذات العنصر  $a_{ik}$  بشطب الأسطر  $i$  والأعمدة  $k$ . وجميع العناصر المتبقية في معينة ذات ترتيب  $(n-1)$ . إن المصفوفة المرتبة  $A_{ik}$ ، وذات العنصر  $a_{ik}$  نحصل عليها بضرب المعينة المختصرة  $\alpha_{ik}^{i+k}(-1)$  حيث  $A_{ik} = (-1)^{i+k} \alpha_{ik}$

نحصل على قيمة معينة، والتي نضرب كل عنصر من أي سلسلة مع المصفوفة المربعة وإضافة الجداء  $n$  الناتج (تطور معينة حسب عناصر سلسلة) مثلاً:

$$D = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{vmatrix} = a_{21}A_{21} + a_{22}A_{22} + \dots + a_{2n}A_{2n}$$

$$= -a_{21}\alpha_{21} + a_{22}\alpha_{22} - \dots + (-1)^{2+n}\alpha_{2n}$$

يكون شكل العامل:

$$\begin{vmatrix} + & - & + & & \vdots \\ - & + & - & & \vdots \\ + & - & + & & \vdots \\ \vdots & & & \ddots & \vdots \\ \vdots & & & & + & - & + \end{vmatrix}$$

حل جملة المعادلات الخطية غير المتجانسة هو:

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n = b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n = b_2$$

$$a_{n1}x_1 + a_{n2}x_2 + \dots + a_{nn}x_n = b_n$$

حسب قاعدة cramer:

$$x_1 = \frac{D_1}{D}; x_2 = \frac{D_2}{D}; \dots; x_n = \frac{D_n}{D}; D = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{vmatrix}$$

من أجل قيمة  $D = 0$  تكون جملة المعادلات غير قابلة للحل.

تُحسب قيمة صورة المعينات  $D_k$  من خلال تعريف العنصر المطلق  $b_i$  في  $D$  (عنصر المعينة) العناصر  $a_{ik}$  ذات العمود  $k$ .

## 9-2 المصفوفات

نعرف المصفوفة بأنها نظام مكون من  $m \cdot n$  عنصر  $a_{ik}$ ، هذه العناصر تكون مرتبة في شكل مربع  $m$  سطر، و  $n$  عمود. [مصفوفة ذات الشكل  $(m, n)$ ].

$$A_{(m,n)} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{pmatrix} = (a_{ik})_{(m,n)}$$

شعاع الأسطر:  $a_i = (a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{in})$  أما شعاع الأعمدة فهو:

$$a_k = \begin{pmatrix} a_{k1} \\ a_{k2} \\ \vdots \\ a_{km} \end{pmatrix}$$

**المصفوفة الصفيرية:** هي المصفوفة التي تكون كافة عناصرها مساوية للصفر.

**منقول المصفوفة:** نبادل في مصفوفة ما  $A_{(m,n)} = (a_{ik})_{(m,n)}$  الأسطر مع الأعمدة، وبذلك نحصل على منقول المصفوفة.

$$A_{(n,m)}^T = (a_{ki})_{(n,m)}$$

**المساواة:** تكون المصفوفتان  $A$  و  $B$  متساويتان. عندما تكونا من نفس النموذج وكل عنصرين متجانسين متساويين، وهذا يعني عندما تصلح لكل العناصر العلاقة:

$$a_{ik} = b_{ik}$$



المصفوفة المربعة الخاصة يكون فيها :  $(m=n)$ :

المصفوفة المتناظرة:  $A^T = A$ ؛ المصفوفة غير المتناظرة:  $A^T = -A$

المصفوفة الواحدة

$$E = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 \end{pmatrix} = (\delta_{ik})$$

$$\delta_{ik} = \begin{cases} 1 & \text{من أجل } i = k \\ 0 & \text{من أجل } i \neq k \end{cases}$$

مضلع المصفوفة

$$D = \begin{pmatrix} d_{11} & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & d_{22} & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & d_{nn} \end{pmatrix}$$

إن معنية مصفوفة مربعة هي:

$$\det A = |A| = A = \det (a_{ik}) = ||a_{ik}||$$

المصفوفة النظامية:  $\det A \neq 0$ ، المصفوفة:  $\det A = 0$

إن مقلوب مصفوفة  $A^{-1}$  لمصفوفة نظامية مربعة  $A$  هو:

$$A \cdot A^{-1} = A^{-1} \cdot A = E$$

$$A^{-1} = \frac{1}{\det A} \begin{pmatrix} A_{11} & A_{21} & \dots & A_{n1} \\ A_{12} & A_{22} & \dots & A_{n2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A_{1n} & A_{2n} & \dots & A_{nn} \end{pmatrix}$$

جمع وطرح المصفوفات من نفس النموذج:

$$A \pm B = B \pm A; A + (B + C) = (A + B) + C = A + B + C$$

ضرب مصفوفة بمقدار سلمي  $\lambda$ :

$$\lambda (\mu A) = (\lambda \mu) A$$

$$\lambda \cdot A = A \cdot \lambda$$

$$(\lambda \pm \mu) A = \lambda A \pm \mu A$$

$$\lambda(A \pm B) = \lambda A \pm \lambda B$$

جداء مصفوفتين  $A = (a_{ik})_{(m,n)}$  و  $B = (b_{ik})_{(n,p)}$  (عدد الأعمدة في  $A$  يجب أن يكون مساوياً لعدد الأسطر في  $B$ )، إن ناتج ضرب مصفوفة  $A_{(m,n)}$  مع مصفوفة  $B_{(n,p)}$  هو مصفوفة  $C_{(m,p)}$  وهذه المصفوفة مساوية  $A_{(m,n)} \cdot B_{(n,p)}$ ، والتي يكون بها كل عنصر  $c_{ik}$  هو الجداء العددي لعناصر السطر  $i$  من  $A$  مع عناصر العمود  $k$  من  $B$ .

$$c_{ik} = \sum_{v=1}^n a_{iv} b_{vk}$$

## 10-2 الأشعة (المتجهات)

الرمز:  $\vec{a}, \vec{b}, \vec{a}, \dots, \vec{b}, \vec{a}$

تعريف: المتجه ذو البعد  $n$ : هو عبارة عن  $n$  مكعب من  $n$  عدد  $a = (a_1, a_2, \dots, a_n)$  أو مصفوفة من الشكل  $(1, n)$  شعاع الأسطر أو من الشكل  $(n, 1)$  شعاع الأعمدة.

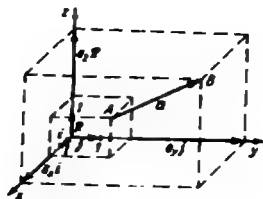
المتجهات ذات الثلاث أبعاد (الشكل 5)

المتجه الحر: تقارب أعداد مربعة

$$a = (a_1, a_2, a_3)$$

التمثيل الهندسي:

$$a = \overrightarrow{AB} = (a_x, a_y, a_z) \quad \text{المسافة الموجهة:}$$



الشكل (5)

متجهات المنطلق: متجهات لها نقطة انطلاق مشتركة (نقطة بداية).

نصف قطر المتجهات: متجهات المنطلق مع نقطة الأصل في مركز الإحداثيات.

إحداثيات المتجه  $a$ :

$$a_x, a_y, a_z$$

مركز المتجه  $a$ :

$$a_x = (a_x, 0, 0)$$

$$a_y = (0, a_y, 0)$$

$$a_z = (0, 0, a_z)$$

متجه الأساس (القاعدي):

$$i = (1, 0, 0)$$

$$j = (0, 1, 0)$$

$$k = (0, 0, 1)$$

قيمة الشعاع  $a$ :

$$|a| = a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$$

اتجاه الشعاع  $a$  (التجيبات الموجهة)

$$\cos(a, i) = \cos \alpha = \frac{a_x}{|a|};$$

$$\cos(a, j) = \cos \beta = \frac{a_y}{|a|};$$

$$\cos(a, k) = \cos \gamma = \frac{a_z}{|a|}$$

$$\cos^2 \alpha + \cos^2 \beta + \cos^2 \gamma = 1$$

قيمة المتجه الواحدي لـ  $a$ :

$$a^0 = \frac{a}{|a|}$$

العلاقات والعمليات في المتجهات:

$$a = b \quad \text{من} \quad a_x = b_x, a_y = b_y, a_z = b_z \quad \text{ينتج}$$

$$a \pm b = (a_x \pm b_x, a_y \pm b_y, a_z \pm b_z) = (a_x \pm b_x) i + (a_y \pm b_y) j + (a_z \pm b_z) k$$

$$a + b = b + a; \quad \text{علاقة تبادلية:}$$

$$a + (b + c) = (a + b) + c \quad \text{علاقة تجميعية:}$$

$$\lambda \cdot a = \lambda a_x i + \lambda a_y j + \lambda a_z k \quad \text{الضرب بمقياس سلمي:}$$

$$(\lambda \mu a) = (\lambda \mu) a; \lambda(a + b) = \lambda a + \lambda b; (\lambda + \mu) a = \lambda a + \mu a$$

العلاقة الخطية لثلاث متجهات  $a, b, c$  عندما:

$$\begin{vmatrix} a_x & a_y & a_z \\ b_x & b_y & b_z \\ c_x & c_y & c_z \end{vmatrix} = 0$$

الجداء السلمي (الجداء الداخلي)

تعريف:

$$a \cdot b = |a| |b| \cos(a, b) = a_x b_x + a_y b_y + a_z b_z$$

$$a \cdot b = b \cdot a; a(b + c) = ab + ac; a \cdot b = 0 \quad \text{عندما} \quad a \perp b$$

$$i \cdot i = j \cdot j = k \cdot k = 1; i \cdot j = j \cdot k = k \cdot i = 0$$

## الجداء الشعاعي (الجداء الخارجي)

تعريف:

$$\mathbf{a} \times \mathbf{b} = |\mathbf{a}| |\mathbf{b}| \sin(\mathbf{a}, \mathbf{b}) = \begin{vmatrix} \mathbf{i} & \mathbf{j} & \mathbf{k} \\ a_x & a_y & a_z \\ b_x & b_y & b_z \end{vmatrix}$$

$$\mathbf{a} \times \mathbf{b} = -\mathbf{b} \times \mathbf{a}; n(\mathbf{a} \times \mathbf{b}) = (n\mathbf{a}) \times \mathbf{b} = \mathbf{a} \times (n\mathbf{b});$$

$$(\mathbf{a} + \mathbf{b}) \times \mathbf{c} = \mathbf{a} \times \mathbf{c} + \mathbf{b} \times \mathbf{c}; \mathbf{a} \times (\mathbf{b} + \mathbf{c}) = \mathbf{a} \times \mathbf{b} + \mathbf{a} \times \mathbf{c};$$

$$\mathbf{a} \times \mathbf{b} = |\mathbf{a}| |\mathbf{b}|, \text{ عندما } \mathbf{a} \perp \mathbf{b}; \mathbf{a} \times \mathbf{b} = 0, \text{ عندما } \mathbf{a} \parallel \mathbf{b};$$

$$\mathbf{i} \times \mathbf{i} = \mathbf{j} \times \mathbf{j} = \mathbf{k} \times \mathbf{k} = 0; \mathbf{i} \times \mathbf{j} = \mathbf{k}, \mathbf{j} \times \mathbf{k} = \mathbf{i}, \mathbf{k} \times \mathbf{i} = \mathbf{j}$$

## الجداء المضاعف للمتجهات:

### الجداء المختلط

$$(\mathbf{a} \times \mathbf{b}) \cdot \mathbf{c} = [\mathbf{abc}] = \begin{vmatrix} a_x & a_y & a_z \\ b_x & b_y & b_z \\ c_x & c_y & c_z \end{vmatrix}$$

## الجداء الشعاعي للمتجهات الثلاث (قانون التطوير)

$$(\mathbf{a} \times \mathbf{b}) \times \mathbf{c} = (\mathbf{ac}) \cdot \mathbf{b} - (\mathbf{bc}) \cdot \mathbf{a}$$

## الجداء السلمي لجداء شعاعين

$$(\mathbf{a} \times \mathbf{b}) \cdot (\mathbf{c} \times \mathbf{d}) = \begin{vmatrix} \mathbf{ac} & \mathbf{ad} \\ \mathbf{bc} & \mathbf{bd} \end{vmatrix}$$

## الجداء الشعاعي لجداء شعاعين

$$(\mathbf{a} \times \mathbf{b}) \times (\mathbf{c} \times \mathbf{d}) = [\mathbf{acd}] \cdot \mathbf{b} - [\mathbf{bcd}] \cdot \mathbf{a} = [\mathbf{abd}] \cdot \mathbf{c} - [\mathbf{abc}] \cdot \mathbf{d}$$

### 3. التوابع والمعادلات

#### 1.3 التوابع الجبرية

التابع الجذري والتابع الأسّي:

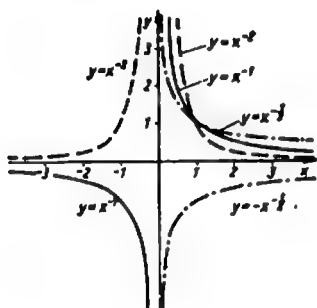
مثلاً (الشكل 6)

$$y = x^n \leftrightarrow y = \sqrt[n]{x} \quad (x > 0)$$

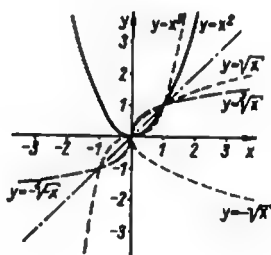
$$y = x^2 \begin{cases} (x \geq 0) \leftrightarrow y = \sqrt{x} \\ (x \leq 0) \leftrightarrow y = -\sqrt{x} \end{cases}$$

$$y = x^3 \begin{cases} (x \geq 0) \leftrightarrow y = \sqrt[3]{x} \\ (x \leq 0) \leftrightarrow y = -\sqrt[3]{x} \end{cases}$$

$$y = x^{-2} \begin{cases} (x > 0) \leftrightarrow y = x^{-\frac{1}{2}} \\ (x < 0) \leftrightarrow y = -x^{-\frac{1}{2}} \end{cases}$$



(الشكل 6b)



(الشكل 6a)

العلاقة الحقيقية التامة:

$$y = a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} + \dots + a_1 x + a_0$$

( $n < m$  كسر صحيح،  $n \geq m$  كسر غير صحيح)

$$y = \frac{a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} + \dots + a_1 x + a_0}{b_m x^m + b_{m-1} x^{m-1} + \dots + b_1 x + b_0}$$

كل علاقة حقيقية كسرية غير أصلية يمكن أن تحول عن طريق إضافات جزئية لمجموع علاقة حقيقية تامة كسرية وأخرى علاقة حقيقية كسرية أصلية.

### 2-3 التوابع المتسامية

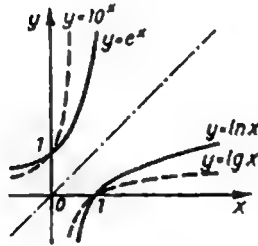
التوابع الأسية واللوغاريتمية

$$y = a^x \leftrightarrow y = \log_a x$$

(انظر الشكل 7)

$$y = e^x \leftrightarrow y = \ln x$$

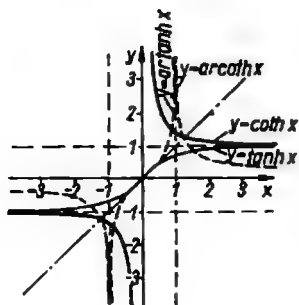
$$y = 10^x \leftrightarrow y = \lg x$$



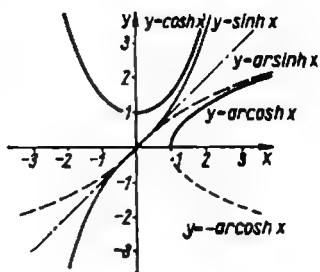
(الشكل 7)

تابع قطعي أو تابع سطحي (الشكل 8 و 9)

$$y = \sinh x = \frac{e^x - e^{-x}}{2} \leftrightarrow y = \operatorname{ar sinh} x = \ln \left( x + \sqrt{x^2 + 1} \right)$$



(الشكل 9)



(الشكل 8)

$$y = \cosh x = \frac{e^x + e^{-x}}{2} \begin{cases} (x \geq 0) \leftrightarrow y = \operatorname{ar} \cosh x = \ln(x + \sqrt{x^2 - 1}) \\ (x \leq 0) \leftrightarrow y = -\operatorname{ar} \cosh x = \ln(x - \sqrt{x^2 - 1}) \end{cases} \quad (x \geq 1)$$

$$y = \tanh x = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} \leftrightarrow y = \operatorname{ar} \tanh x = \frac{1}{2} \ln \frac{1+x}{1-x} \quad (|x| < 1)$$

$$y = \coth x = \frac{e^x + e^{-x}}{e^x - e^{-x}} \leftrightarrow y = \operatorname{ar} \coth x = \frac{1}{2} \ln \frac{x+1}{x-1} \quad (|x| > 1)$$

العلاقات بين التوابع القطعية:

$$\cosh^2 x - \sinh^2 x = 1$$

$$\sinh 2x = 2 \sinh x \cosh x$$

$$\cosh 2x = \cosh^2 x + \sinh^2 x$$

$$= 2 \sinh^2 x + 1$$

$$= 2 \cosh^2 x - 1$$

$$\tanh x = \frac{\sinh x}{\cosh x} = \frac{1}{\coth x}$$



### 3.3 حل المعادلات

- الحل البياني (التخطيطي)

(a) من خلال رسم منحنى التابع المعطى، وتكون نقطة الصفر التابع مطابقة للحلول الحقيقية للمعادلة:

مثلاً:

$$x e^x - 2 = 0; y = x e^x - 2$$

(b) خلال التجزئة إلى تابعين، نقاط تقاطع للمنحنى تطابق الحلول الحقيقية للمعادلة:

مثلاً:

$$x e^x - 2 = 0; y_1(x) = e^x; y_2(x) = \frac{2}{x}$$

- الحل الرقمي:

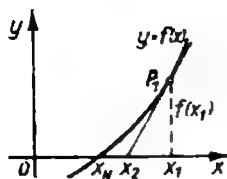
نطبق قاعدة falsi لتحديد القيم التقريبية لنقطة الصفر الشكل (10). تقع النقطة  $P_0$  و  $P_1$  في المنطقة المجاورة لنقطة الصفر  $x_N$  (يمكن أن تكون  $y_0$  و  $y_1$  بإشارات مختلفة)، وتكون القيمة التقريبية لذلك:

$$x_2 = x_1 - \frac{y_1(x_0 - x_1)}{y_0 + y_1}$$

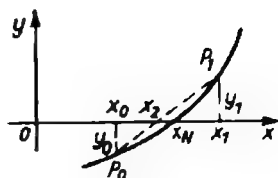
لتحديد موقع الصفر حسب القيمة التقريبية لـ Newton (الشكل 11)

$$x_2 = x_1 - \frac{f(x_1)}{f'(x_1)} \text{ بشرط } f'(x_1) \neq 0$$

إن أفضل قيمة تقريبية لـ  $x_N$  من  $x_1$  عندما يكون:  $f(x_1) f'(x_1) > 0$



(الشكل 11)



(الشكل 10)

المعادلات من الدرجة الأولى (المعادلات الخطية):

ذات مجهول واحد:

$$Ax + B = 0; x = -\frac{B}{A}$$

ذات مجهولين:

$$a_1x + b_1y = k_1$$

$$a_2x + b_2y = k_2$$

$$(I) 2x + 3y = 1$$

$$(II) 3x + 4y = 2$$

مثلاً

طريقة الجمع: بضرب المعادلة الأولى بـ (3) والمعادلة الثانية بـ (-2) ثم الجمع، ينتج  $y = -1$ ، وبالتعويض في (I) أو (II) نجد  $x = 2$

طريقة التعويض: نوجد من المعادلة الأولى  $x$  بدلالة  $y$  ثم نعوض في المعادلة الثانية، نجد حل المعادلة  $y = -1$ ، ثم نعاود التعويض في الأولى لإيجاد قيمة  $x$ .

المعادلة من الدرجة الثانية (المعادلة التربيعية).

$$Ax^2 + Bx + C = 0$$

الشكل العام

$$x^2 + px + q = 0$$

الشكل الطبيعي

$$x_{1,2} = -\frac{p}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{p}{2}\right)^2 - q} \quad \text{صيغة الحل}$$

$$(x - x_1)(x - x_2) = 0 \quad \text{شكل الجداء}$$

$$x_1 + x_2 = -p, \quad x_1 x_2 = q$$

- المعادلات الجذرية

وفيها تتواجد المجاهيل تحت الجذر التربيعي. ونحل من خلال إعادتها إلى قوة (أس) مثلاً (التربيع) لكلا طرفي المعادلة:  
مثلاً:

$$\sqrt{x+a} = \sqrt{x-b+c}$$

$$x = \left( \frac{a+b-c^2}{2c} \right)^2 + b$$

وعند إيجاد النتيجة يجب إعادة التعويض، لأن الرفع إلى قوة يمكن أن يؤدي إلى تغيير مجال التعريف.

- المعادلات الأسية

حل هذه المعادلات يتم بإيجاد لوغاريتم طرفي المعادلة:  
مثلاً:

$$a^x = b$$

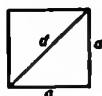
$$x = \frac{\lg b}{\lg a}$$

## 4. الهندسة

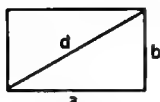
### 1.4 الهندسة المستوية

#### 1.1.4 السطوح (المساحة A، المحيط U، مركز الثقل، S)

المستطيل (الشكل 12)



الشكل 13



الشكل 12

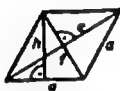
$$A = a.b; U = 2(a + b)$$

$$d = \sqrt{a^2 + b^2}$$

المربع (الشكل 13)

$$A = a^2, U = 4a, d = a\sqrt{2}$$

متوازي الأضلاع (الشكل 14)



الشكل 15



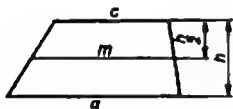
الشكل 14

$$A = a.h; U = 2(a + b)$$

المعين (الشكل 15)

$$A = a.h = \frac{e.f}{2}; U = 4a$$

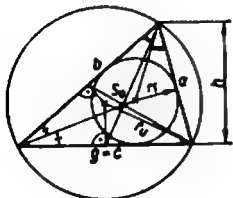
شبه المنحرف (الشكل 16)



الشكل 16

$$A = \frac{a+c}{2} h = m.h$$

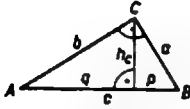
- المثلث (بشكل عام) (الشكل 17)



الشكل 17

$$\begin{aligned} A &= \frac{gh}{2} = \frac{abc}{4r_u} = r_u s \\ &= \sqrt{s(s-a)(s-b)(s-c)} \\ s &= \frac{a+b+c}{2} = \frac{U}{2} \end{aligned}$$

( $r_u$ ) نصف قطر الدائرة الخارجية، ( $r_i$ ) نصف قطر الدائرة الداخلية)



الشكل 18

- مثلث قائم الزاوية (الشكل 18)

$$A = \frac{a \cdot b}{2} = \frac{c \cdot h_c}{2}$$

حسب نظرية Pythagoras:

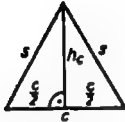
$$a^2 + b^2 = c^2$$

حسب الارتفاعات:

$$h_c^2 = pq$$

قانون Euklid (القوائم في المثلث)  $b^2 = cq$

$$a^2 = cp$$



الشكل 19

- مثلث متساوي الساقين (الشكل 19)

$$A = \frac{ch_c}{2} = \frac{c}{2} \sqrt{s^2 - \frac{c^2}{4}}; h_c = \sqrt{s^2 - \frac{c^2}{4}}$$

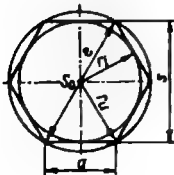


الشكل 20

- مثلث متساوي الأضلاع (الشكل 20)

$$A = \frac{a^2}{4} \sqrt{3}; h = \frac{a}{2} \sqrt{3}$$

$$r_u = \frac{a}{3} \sqrt{3}; r_i = \frac{a}{6} \sqrt{3} = \frac{1}{2} r_u$$



الشكل 21

- مسدس منتظم (الشكل 21)

$$A = \frac{3a^2 \sqrt{3}}{2} = \frac{3r_u^2 \sqrt{3}}{2} = 2r_i^2 \sqrt{3}$$

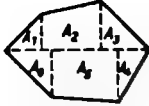
$$r_u = a, r_i = \frac{a}{2} \sqrt{3} = \frac{r_u}{3} \sqrt{3}$$

$$e = 2a = 2r_u \quad (e \text{ قياس الزاوية})$$

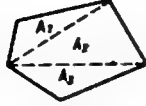
$$s = a\sqrt{3} = 2r_1 = \frac{e}{2}\sqrt{3}$$

(السبع القائم انظر الشكل)

22) الأشكال متعددة الأضلاع الشكلين (و 23)



الشكل 23



الشكل 22

$$A = A_1 + A_2 + A_3 + \dots$$

الحساب يتم بتجزئة الشكل إلى مثلثات أو مثلثات وأشباه منحرفة.

- الدائرة (الشكل 24)



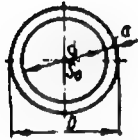
الشكل 24

$$A = \pi r^2 = \pi \frac{d^2}{4} \approx 0.78540d^2$$

$$U = 2\pi r = \pi d$$

$$d = 2\sqrt{\frac{A}{\pi}} \approx 1.12838\sqrt{A}$$

- حلقة دائرية (الشكل 25)

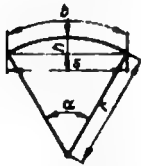


الشكل 25

$$A = \pi(R^2 - r^2) = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2) = \pi(d+a)a$$

$$a = R - r = \frac{D - d}{2}$$

- قطاع زاوي (مقطع دائري) (الشكل 26)



الشكل 26

$$A = \frac{\pi r^2 \alpha}{360^\circ} = \frac{br}{2} = \frac{\text{arc } \alpha}{2} r^2$$

(b طول القوس)

$$b = \frac{\pi r \alpha}{180^\circ} = \frac{\pi d \alpha}{360^\circ} = 0.017453 r \alpha$$

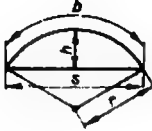
$$\approx \sqrt{s^2 + \frac{16}{3} h^2}$$

$$\text{arc } \alpha = \frac{\pi \alpha}{180^\circ}$$

- قبة دائرية (مقطع دائري الشكل 27)

$$A = \frac{1}{2} [br - s(r - h)] \approx \frac{h}{6s} (3h^2 + 4s^2)$$

(s الوتر، h الارتفاع)

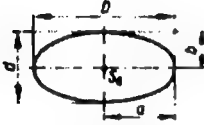


الشكل 27

$$r = \frac{h}{2} + \frac{s^2}{8h}; s = 2r \sin \frac{\alpha}{2}$$

$$h = r \left( 1 - \cos \frac{\alpha}{2} \right) = 2r \sin^2 \frac{\alpha}{4} = \frac{s}{2} \tan \frac{\alpha}{4}$$

- القطع الناقص (الشكل 28)



الشكل 28

$$A = \pi ab = \frac{\pi}{4} Dd$$

$$U \approx \frac{3\pi}{4} (D + d) - \frac{\pi}{2} \sqrt{Dd} \approx \pi \frac{D + d}{2}$$

## 2.1.4 الزوايا

الزاوية المتممة - 4 زوايا قائمة (4L) = 360 غراد (360°)

$$400 \text{ gon} = 2\pi (6.2832 \text{ rad})$$

$$\pi = 3.14159 \text{ (رقم Ludolf)}$$

$$1 \text{ Grad} = 60' = 3600''$$

$$1 \text{ gon} = 1 \text{ cgon} = 1000 \text{ mgon}$$

$$\frac{\text{قوس الدائرة } b}{\text{نصف قطر الدائرة } r} = \hat{\alpha} = \text{قياس قوس } \hat{\alpha}$$

= القيمة العددية للقوس بوحدة الدائرة

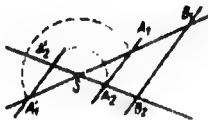
$$\hat{\alpha} = \text{arc } \alpha = \frac{b}{r} = \frac{\pi \alpha}{180^\circ} = 0.01745 \alpha$$

إن قياس القوس هو مقدار لا بعدي، وتكون واحدة الزاوية بالراديان (rad) لقياس القوس.

$$1 \text{ rad} = \frac{180^\circ}{\pi} = 57.29578^\circ = 57^\circ 17' 45''$$

### 3.1.4 قوانين الأشعة، التشابه

#### 1. قانون الأشعة الأول



الشكل 29

عندما نقطع شعاعان متوازيان، مستقيمين، تكون النسبة المقطوعة على أحد الأشعة بالنسبة لبعضها البعض كما على الأخرى

$$\frac{\overline{SA_1}}{A_1B_1} = \frac{\overline{SA_2}}{A_2B_2} = \frac{\overline{SA'_1}}{SB_1} = \frac{\overline{SA'_2}}{SB_2}$$

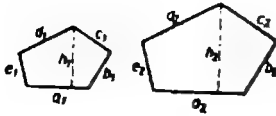
#### 2. قانون الأشعة الثاني

عندما نقطع شعاعين، مستقيمين متوازيين، تسلك القطع المقطوعة للمتوازيين بالنسبة لبعضهما البعض كما لو كانت تابعة، من الرأس للمقطع المقاس على الشعاع

$$\frac{\overline{A_1A_2}}{B_1B_2} = \frac{\overline{SA_1}}{SB_1} = \frac{\overline{SA_2}}{SB_2} \text{ أو } \frac{\overline{A'_1A'_2}}{B_1B_2} = \frac{\overline{SA'_1}}{SB_1} = \frac{\overline{SA'_2}}{SB_2}$$



### قانون تشابه المثلثات الأساسي



تكون المثلثات متشابهة، عندما  
تتوافق بزوايتين

الشكل 30

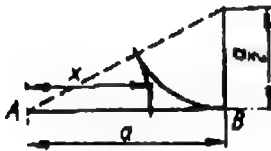
تسلك محيطات الأشكال المتشابهة (مثلاً المضلع أو الدائرة) بالنسبة لبعضها سلوك ذات المسافات المتساوية (الشكل 30)

$$U_1 : U_2 = a_1 : a_2 = b_1 : b_2 = \dots = h_1 : h_2 = \dots$$

تسلك مساحات الأشكال المتشابهة (مثلاً المضلع أو الدائرة) بالنسبة لبعضها كسلوك مربعات ذات مسافات متساوية:

$$A_1 : A_2 = a_1^2 : a_2^2 = b_1^2 : b_2^2 = \dots = h_1^2 : h_2^2 = \dots$$

التقسيم الدائم (التقسيم الذهبي) (الشكل 31)



الشكل 31

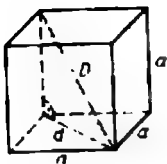
$$a : x = x : (a - x)$$

$$x = \frac{a}{2}(\sqrt{5} - 1)$$

$$x \approx 0.618a$$

## 4.2 الهندسة الفراغية (حجوم وسطوح الأجسام)

(V الحجم، A<sub>0</sub> السطح، A<sub>M</sub> السطح الجانبي، S<sub>0</sub> مركز الثقل)

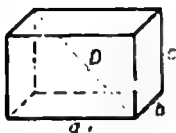


الشكل 32

- المكعب (الشكل 32)

$$V = a^3 ; A_0 = 6 a^2$$

$S_0$  تقع في نقطة تقاطع الأقطار ،  $D = a\sqrt{3}$

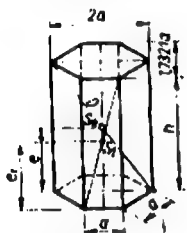


الشكل 33

- متوازي المستطيلات (مربع) (الشكل 33)

$$V = a \cdot b \cdot c ; A_0 = 2(ab + ac + bc)$$

$$D = \sqrt{a^2 + b^2 + c^2} ; \text{ انظر المكعب } (S_0)$$



الشكل 34

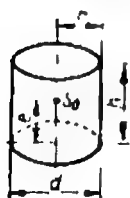
- الموشور السداسي (الشكل 34)

$$V = \frac{3}{2} a^2 h \sqrt{3} = \frac{\sqrt{3}}{2} s^2 h$$

$$A_0 = 3a(a\sqrt{3} + 2h) = \sqrt{3}s(s + 2h)$$

$$c = \frac{h}{2} ;$$

$S_0$  نقطة تقاطع الأقطار



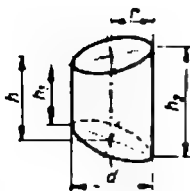
الشكل 35

- الاسطوانة الدائرية (الشكل 35)

$$V = \pi r^2 h = \frac{\pi}{4} d^2 h ;$$

$$A_0 = 2\pi r(r + h) = \pi d \left( \frac{d}{2} + h \right)$$

$$A_M = 2\pi r h = \pi d h ; c = \frac{h}{2}$$



الشكل 36

- الاسطوانة الدائرية مشطوفة الطرفين بشكل مائل (شكل 36)

$$V = \pi r^2 h = \pi r^2 \frac{h_1 + h_2}{2} = \frac{\pi d^2 h}{4}$$

$$A_M = 2\pi r h = \pi(h_1 + h_2)$$



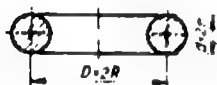
الشكل 37

- الاسطوانة المفرغة (الشكل 37)

$$V = \pi h(r_1^2 - r_2^2) = \frac{\pi}{4} h(d_1^2 - d_2^2)$$

$$= \pi h a(r_1 + r_2) = \frac{\pi}{2} h a(d_1 + d_2)$$

$$e = \frac{h}{2}$$



الشكل 38

- الحلقة الاسطوانية (الشكل 38)

$$V = \frac{\pi^2 D d^2}{4} = 2\pi^2 R r^2; A_0 = \pi^2 D d = 4\pi^2 R r$$

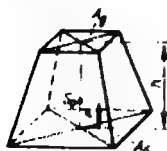


الشكل 39

- الهرم (الشكل 39)

$$V = \frac{Gh}{3}$$

$$e = \frac{h}{4}$$



الشكل 40

- جذع الهرم (الشكل 40)

$$V = \frac{h}{3} (A_G + \sqrt{A_G A_g} + A_g)$$

$$e = \frac{h}{4} \frac{A_G + 2\sqrt{A_G A_g} + 3A_g}{A_G + \sqrt{A_G A_g} + A_g}$$

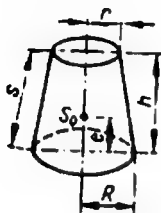


الشكل 41

المخروط الدوراني (الشكل 41)

$$V = \frac{\pi}{3} r^2 h; A_0 = \pi r(r + s)$$

$$A_M = \pi r s; c = \frac{h}{4}$$



الشكل 42

- جذع المخروط الدوراني (الشكل 42)

$$V = \frac{\pi}{3} h(R^2 + Rr + r^2)$$

الصيغة التقريبية للمخروط الدوراني

(تعطي قيمة V كبيرة جداً)

$$V \approx \frac{\pi}{2} h(R^2 + r^2)$$

(تعطي قيمة V صغيرة جداً)

$$V \approx \frac{\pi}{4} h(R + r)^2$$

$$A_0 = \pi[R^2 + r^2 + s(R + r)]; A_M = \pi s(R + r)$$

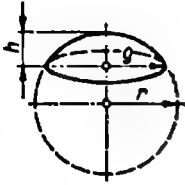
$$c = \frac{h}{4} \frac{R^2 + 2Rr + 3r^2}{R^2 + Rr + r^2}$$



الشكل 43

- الكرة (الشكل 43)

$$V = \frac{4}{3} \pi r^3 = \frac{1}{6} \pi d^3; A_0 = 4\pi r^2 = \pi d^2$$



الشكل 44

- القبة الكروية (الشكل 44)

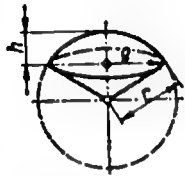
$$A_M = 2\pi r h = \pi(\rho^2 + h^2)$$

- القطاع الكروي (الشكل 44)

$$V = \frac{\pi}{3} h^2 (3r - h) = \frac{\pi}{6} h (3\rho^2 + h^2);$$

$$A_0 = \pi(2\rho^2 + h^2)$$

$$e = \frac{3}{4} \frac{(2r - h)^2}{3r - h}$$

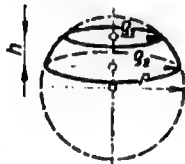


الشكل 45

- القطاع الكروي (الشكل 45)

$$V = \frac{2}{3} \pi r^2 h; A_0 = \pi r(\rho + 2h)$$

$$e = \frac{3}{8} (2r - h)$$



الشكل 46

- طبقة من الكرة (الشكل 46):

$$V = \frac{\pi}{6} h (3\rho_1^2 + 3\rho_2^2 + h^2);$$

$$A_0 = \pi(\rho_1^2 + \rho_2^2 + 2rh)$$

- الحزب الكروي (الشكل 46)

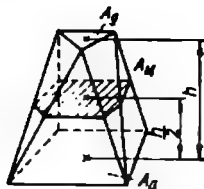
$$A_M = 2\pi r h$$



الشكل 47

- القطاع الناقص الفراغي (الاهليلجي) (الشكل 47)

$$V = \frac{4}{3} \pi abc$$



الشكل 48

- الهرم الفراغي (الشكل 48)

صيغة Simpson

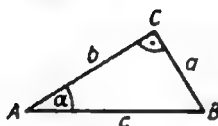
$$V = \frac{h}{6} (A_G + A_g + 4A_M)$$

- الأجسام الدورانية

يتم حساب السطوح الخارجية والحجوم بقاعدة Guldin.

### 3.4 الهندسة المستوية

#### 1.3.4 علاقات الهندسة المستوية في المثلث القائم الزاوية (الشكل 49)



الشكل 49

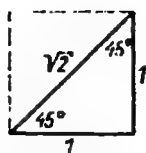
$$\sin \alpha = \frac{\text{المقابل}}{\text{الوتر}} = \frac{a}{c}$$

$$\cos \alpha = \frac{\text{المجاور}}{\text{الوتر}} = \frac{b}{c}$$

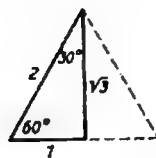
$$\tan \alpha = \frac{\text{المقابل}}{\text{المجاور}} = \frac{a}{b}$$

$$\cot \alpha = \frac{\text{المجاور}}{\text{المقابل}} = \frac{b}{a}$$

قيم التوابع الهامة (الشكلين 50 و 51)



الشكل 51



الشكل 50

$\alpha$	$0^\circ$	$30^\circ$	$45^\circ$	$60^\circ$	$90^\circ$
$\sin \alpha =$	0	$\frac{1}{2} = 0.5$	$\frac{1}{2}\sqrt{2} \approx 0.707$	$\frac{1}{2}\sqrt{3} \approx 0.866$	1
$\cos \alpha =$	1	$\frac{1}{2}\sqrt{3} \approx 0.866$	$\frac{1}{2}\sqrt{2} \approx 0.707$	$\frac{1}{2} = 0.5$	0
$\tan \alpha =$	0	$\frac{1}{3}\sqrt{3} \approx 0.577$	1	$\sqrt{3} \approx 1.732$	$\infty$
$\cot \alpha =$	$\infty$	$\sqrt{3} \approx 1.732$	1	$\frac{1}{3}\sqrt{3} \approx 0.577$	0

العلاقات بين التوابع ذات الزوايا المتساوية

$$\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$$

$$\tan \alpha \cdot \cot \alpha = 1$$

$$\tan \alpha = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \frac{1}{\cot \alpha}$$

$$\cot \alpha = \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha} = \frac{1}{\tan \alpha}$$

$$1 + \tan^2 \alpha = \frac{1}{\cos^2 \alpha}$$

$$1 + \cot^2 \alpha = \frac{1}{\sin^2 \alpha}$$

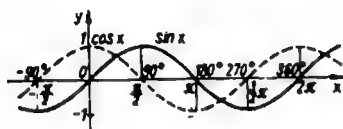
## العلاقات المكملية للشكلين (52 و 53)

$$\sin (90^\circ - \alpha) = \cos \alpha$$

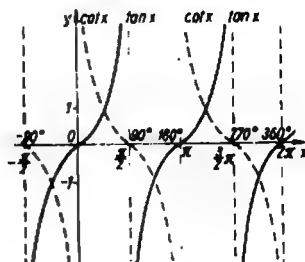
$$\cos (90^\circ - \alpha) = \sin \alpha$$

$$\tan (90^\circ - \alpha) = \cot \alpha$$

$$\cot (90^\circ - \alpha) = \tan \alpha$$



الشكل 52

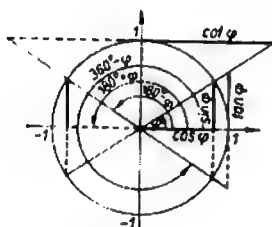


الشكل 53

## 2.3.4 إرجاع الزوايا إلى الربع الأول ( $\varphi \leq 90^\circ$ )

(الأشكال 52 ... 54)

الربع الثاني



الشكل 54

$$\sin (180^\circ - \varphi) = + \sin \varphi$$

$$\cos (180^\circ - \varphi) = - \cos \varphi$$

$$\tan (180^\circ - \varphi) = - \tan \varphi$$

$$\cot (180^\circ - \varphi) = - \cot \varphi$$

الربع الرابع

الربع الثالث

$$\sin (360^\circ - \varphi) = \sin (-\varphi) = - \sin \varphi$$

$$\cos (360^\circ - \varphi) = \cos (-\varphi) = + \cos \varphi$$

$$\tan (360^\circ - \varphi) = \tan (-\varphi) = - \tan \varphi$$

$$\cot (360^\circ - \varphi) = \cot (-\varphi) = - \cot \varphi$$

$$\sin (180^\circ + \varphi) = - \sin \varphi$$

$$\cos (180^\circ + \varphi) = - \cos \varphi$$

$$\tan (180^\circ + \varphi) = + \tan \varphi$$

$$\cot (180^\circ + \varphi) = + \cot \varphi$$



### 3.3.4 العلاقات المثلثية في المثلث العام

- قانون الجيب

$$\frac{a}{\sin \alpha} = \frac{b}{\sin \beta} = \frac{c}{\sin \gamma}$$

- قانون التحيب

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos \alpha; \cos \alpha = \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc}$$

$$b^2 = a^2 + c^2 - 2ac \cos \beta; \cos \beta = \frac{a^2 + c^2 - b^2}{2ac}$$

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos \gamma; \cos \gamma = \frac{a^2 + b^2 - c^2}{2ab}$$

- قانون الظل

$$\frac{a+b}{a-b} = \frac{\tan \frac{\alpha+\beta}{2}}{\tan \frac{\alpha-\beta}{2}}; \tan \frac{\alpha+\beta}{2} = \cot \frac{\gamma}{2}$$

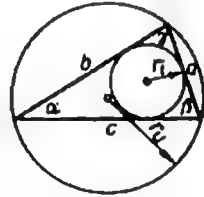
$$\tan \frac{\alpha}{2} = \sqrt{\frac{(s-b)(s-c)}{s(s-a)}} = \frac{r_i}{s-a}; s = \frac{a+b+c}{2}$$

$$r_i = \sqrt{\frac{(s-a)(s-b)(s-c)}{s}}$$

$$= s \tan \frac{\alpha}{2} \tan \frac{\beta}{2} \tan \frac{\gamma}{2}$$

$$= 4r_u \sin \frac{\alpha}{2} \sin \frac{\beta}{2} \sin \frac{\gamma}{2}$$

- منتصف الزاوية



الشكل 55

- نصف القطر الداخلي للدائرة المحيطة:

$$r_u = \frac{a}{2 \sin \alpha} = \frac{b}{2 \sin \beta} = \frac{c}{2 \sin \gamma}$$

$$A = \frac{1}{2} \sin \gamma = \frac{a^2 \sin \beta \sin \gamma}{2 \sin \alpha}$$

$$= r_1 s = \sqrt{s(s-a)(s-b)(s-c)}$$

$$= \frac{abc}{4r_u} = 2r_u^2 \sin \alpha \sin \beta \sin \gamma$$

#### 4.2.4 تابع الجيب $y = A \sin(\omega t + \phi)$

السعة (قيمة) $A$	الزمن $t$
التردد الزاوي $\omega$	الطور $\phi$ (زاوية الطور)
(التردد $f$ ) $\omega = 2\pi f$	الطور $t_v$ (الانسحاب)
(زمن الدور $T$ ) $= \frac{2\pi}{T}$	

- التمثيل  $v[t]$  —

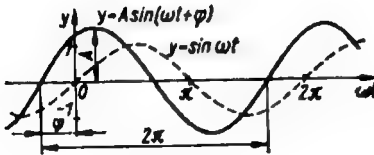


الشكل 56

$$T = \frac{2\pi}{\omega}$$

$$t_v = -\frac{\phi}{\omega}$$

التمثيل  $\omega t$  —



الشكل 57

$$\phi = -\omega t_v$$

$$\omega T = 2\pi$$

### 5.3.4 نظريات الجمع

- علاقات جمع وطرح الزوايا

$$\sin(\alpha \pm \beta) = \sin \alpha \cdot \cos \beta \pm \cos \alpha \cdot \sin \beta$$

$$\cos(\alpha \pm \beta) = \cos \alpha \cdot \cos \beta \mp \sin \alpha \cdot \sin \beta$$

$$\tan(\alpha \pm \beta) = \frac{\tan \alpha \pm \tan \beta}{1 \mp \tan \alpha \cdot \tan \beta}$$

$$\cot(\alpha \pm \beta) = \frac{\cot \alpha \cdot \cot \beta \pm 1}{\cot \beta \pm \cot \alpha}$$

- العلاقات بين مضاعفات وأنصاف الزوايا:

$$\sin 2\alpha = 2 \sin \alpha \cdot \cos \alpha$$

$$\sin \alpha = 2 \sin \frac{\alpha}{2} \cos \frac{\alpha}{2}$$

$$\cos 2\alpha = \cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha$$

$$\cos \alpha = \cos^2 \frac{\alpha}{2} - \sin^2 \frac{\alpha}{2}$$

$$= 2 \cos^2 \alpha - 1 = 1 - 2 \sin^2 \alpha$$

$$= 2 \cos^2 \frac{\alpha}{2} - 1 = 1 - 2 \sin^2 \frac{\alpha}{2}$$

$$\tan 2\alpha = \frac{2 \tan \alpha}{1 - \tan^2 \alpha}$$

$$\tan \alpha = \frac{2 \tan \frac{\alpha}{2}}{1 - \tan^2 \frac{\alpha}{2}}$$

$$\cot 2\alpha = \frac{\cot^2 \alpha - 1}{2 \cot \alpha}$$

$$\cot \alpha = \frac{\cot^2 \frac{\alpha}{2} - 1}{2 \cot \frac{\alpha}{2}}$$

- مجموع وفرق علاقيتين:

$$\sin \alpha + \sin \beta = 2 \sin \frac{\alpha + \beta}{2} \cos \frac{\alpha - \beta}{2}$$

$$\sin \alpha - \sin \beta = 2 \cos \frac{\alpha + \beta}{2} \sin \frac{\alpha - \beta}{2}$$

$$\cos \alpha + \cos \beta = 2 \cos \frac{\alpha + \beta}{2} \cos \frac{\alpha - \beta}{2}$$

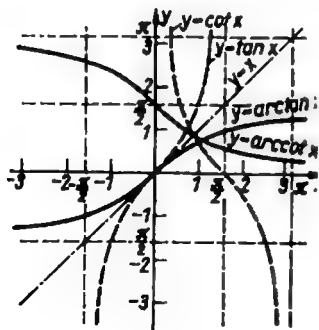
$$\cos \alpha - \cos \beta = 2 \sin \frac{\alpha + \beta}{2} \sin \frac{\alpha - \beta}{2}$$

### 6.3.4 التوابع المثلثية العكسية: (الشكلين 58 و 59)

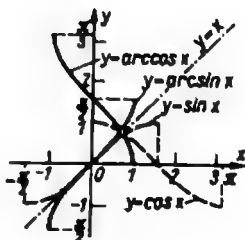
	مجال التعريف	مجال القيم
$y = \arcsin x$	$-1 \leq x \leq 1$	$-\frac{\pi}{2} \leq y \leq \frac{\pi}{2}$
$y = \arccos x$	$-1 \leq x \leq 1$	$0 \leq y \leq \pi$
$y = \arctan x$	$-\infty < x < \infty$	$-\frac{\pi}{2} < y < \frac{\pi}{2}$
$y = \operatorname{arccot} x$	$-\infty < x < \infty$	$0 < y < \pi$

$$\arcsin x + \arccos x = \frac{\pi}{2}$$

$$\arctan x + \operatorname{arccot} x = \frac{\pi}{2}$$



الشكل 59



الشكل 58

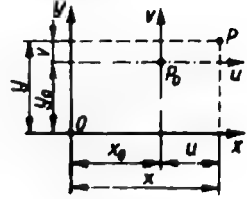
## 5. الهندسة التحليلية

### 1.5 المستقيم، المسافة

الانسحاب الموازي لنظام الإحداثيات (الشكل 60)

$$u = x - x_0 \quad v = y - y_0$$

$$x = u + x_0 \quad y = v + y_0$$



الشكل 60

المسافة (الشكل 61)

$$\overline{P_1 P_2} = I = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

معادلة المستقيم

$$y = mx + b \quad \text{الصيغة الطبيعية}$$

$$m = \tan \alpha = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad \text{الميل}$$

$$\frac{y - y_1}{x - x_1} = m \quad \text{صيغة اتجاه النقطة}$$

$$\frac{y - y_1}{x - x_1} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad \text{شكل نقطتين}$$

$$\frac{x}{a} + \frac{y}{b} = 1 \quad \text{صيغة قطع المحاور}$$

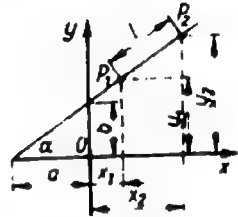
الزاوية بين مستقيمين (الشكل 62)

$$\tan \sigma = \frac{m_2 - m_1}{1 + m_1 m_2}; \quad m_1 = \tan \alpha_1$$

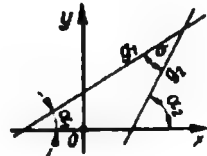
$$m_2 = \tan \alpha_2$$

$$\sigma = 90^\circ \text{ عندما } g_2 \perp g_1: \quad m_2 = -\frac{1}{m_1}$$

$$\sigma = 0^\circ \text{ عندما } g_2 \parallel g_1: \quad m_2 = m_1$$



الشكل 61



الشكل 62

## 2.5 المثلث (الشكل 63)

$$A = \left| \frac{1}{2} [x_1(y_2 - y_3) + x_2(y_3 - y_1) + x_3(y_1 - y_2)] \right| \quad \text{المساحة:}$$

$$x_s = \frac{x_1 + x_2 + x_3}{3}; y_s = \frac{y_1 + y_2 + y_3}{3} \quad \text{إحداثيات مركز الثقل}$$

## 3.5 الدائرة (الشكل 64)

معادلة الدائرة عندما يقع مركزها في النقطة  $M(0,0)$  هي  $x^2 + y^2 = r^2$

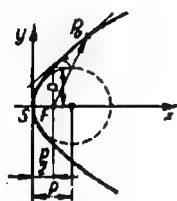
معادلة المماس  $(P_0)$  على الدائرة (أو المماس (خارج الدائرة  $P_0$ )  $xx_0 + yy_0 = r^2$

معادلة الدائرة إذا انسحب مركزها إلى الإحداثيات  $M(x_m, y_m)$

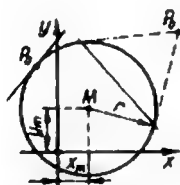
$$(x - x_m)^2 + (y - y_m)^2 = r^2$$

معادلة المماس أو الظل من أجل:  $M(x_m, y_m)$

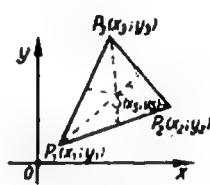
$$(x - x_m)(x_0 - x_m) + (y - y_m)(y_0 - y_m) = r^2$$



الشكل 65



الشكل 64



الشكل 63

## 4.5 القطع المكافئ (الشكل 65)

معادلة القمة

$$y^2 = 2px \quad (I) \quad \text{مفتوح لليمين}$$

$$x^2 = 2py \quad \text{(مفتوح للأعلى)} \quad \text{II}$$

$$y^2 = -2px \quad \text{(مفتوح لليسار)} \quad \text{III}$$

$$x^2 = -2py \quad \text{(مفتوح للأسفل)} \quad \text{IV}$$

معادلة المماس ( $P_0$  على القطع المكافئ) أو على الوتر الملامس ( $P_0$  خارج القطع المكافئ).

$$\text{I) } yy_0 = p(x + x_0)$$

$$\text{II) } xx_0 = p(y + y_0)$$

معادلة القطع المكافئ المسحوب الموازي بـ  $S(x_0, y_0)$

$$\text{I) } (y - y_0)^2 = 2p(x - x_0)$$

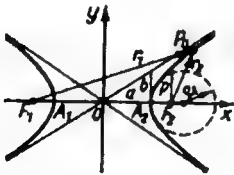
$$\text{II) } (x - x_0)^2 = 2p(y - y_0)$$

نصف المتحول  $P$  - الإحداثيات في المحرق  $F$ ؛  $\overline{FS} = \frac{p}{2}$

$$r = \overline{FP_0} = x_0 + \frac{p}{2}$$

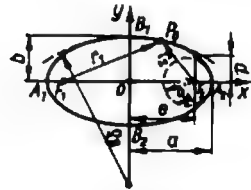
## 5.5 القطع الناقص والزائد

القطع الزائد (الشكل 67)



الشكل 67

القطع الناقص (الشكل 66)



الشكل 66

معادلة المركز مع  $M(0,0)$

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$$

$$\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1$$

معادلة المماس ( $P_0$  على المنحني) أو ( $P_0$  خارج المنحني)

$$\frac{xx_0}{a^2} + \frac{yy_0}{b^2} = 1$$

$$\frac{xx_0}{a^2} - \frac{yy_0}{b^2} = 1$$

معادلة الناطم المنسحب الموازي بـ  $M(x_m; y_m)$

$$\frac{(x - x_m)^2}{a^2} + \frac{(y - y_m)^2}{b^2} = 1$$

$$\frac{(x - x_m)^2}{a^2} - \frac{(y - y_m)^2}{b^2} = 1$$

معادلة الناطم أو معادلة التماس من أجل  $M(x_m; y_m)$

$$\frac{(x - x_m)(x_0 - y_m)}{a^2} - \frac{(y - y_m)(y_0 - y_m)}{b^2} = 1$$

$$\frac{(x - x_m)(x_0 - x_m)}{a^2} + \frac{(y - y_m)(y_0 - y_m)}{b^2} = 1$$

معادلة القمة

$$y^2 = 2px - \frac{p}{a}x^2$$

$$y^2 = 2px + \frac{p}{a}x^2$$

[الرأس  $A_1(0,0)$ ]

[الرأس  $A_2(0,0)$ ]

المتحول النصف

$$p = \frac{b^2}{a}$$

$$p = \frac{b^2}{a}$$

البعد غير المركزي الخطي

$$e^2 = a^2 + b^2$$

$$e^2 = a^2 - b^2$$



البعد غير المركزي الرقمي

$$\varepsilon = \frac{c}{a} \langle 1$$

$$\varepsilon = \frac{c}{a} \rangle 1$$

أشعة المحرق

$$r_2 = \varepsilon x_0 - a$$

$$r_1 = \varepsilon x_0 + a,$$

$$r_2 = a - \varepsilon x_0,$$

$$r_1 = a + \varepsilon x_0,$$

خواص الموقع

$$r_1 - r_2 = 2a$$

$$r_1 + r_2 = 2a$$

أنصاف أقطار دوائر الانحناء الرئيسية

$$\rho_A = \frac{b^2}{a}, \rho_B = \frac{a^2}{b}$$

$$\rho_A = \frac{b^2}{a}$$

معادلات الخطوط المقاربة

$$y = \frac{b}{a}x, y = -\frac{b}{a}x$$

السطح

$$A = \pi ab$$

## 6.5 المعادلة العامة لمقاطع المخروط الانسحابي المتوازي

$$Ax^2 + By^2 + Cx + Dy + E = 0$$

$$A = B$$

الدائرة

A أو B تساوي الصفر

القطع المكافئ

A و B لها نفس الإشارة

القطع الناقص

A و B مختلفتان في الإشارة

القطع الزائد

## 6. حساب التفاضل

### 1.6 القيم الحدية

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{\sin x}{x} = 0, \lim_{x \rightarrow 0} \frac{\tan x}{x} = 1$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{1}{n}\right)^n = 2.71828... = e = 1 + 1 + \frac{1}{2!} + \frac{1}{3!} + \dots$$

$$1! = 1, 2! = 1 \cdot 2 = 2, 3! = 1 \cdot 2 \cdot 3 = 6,$$

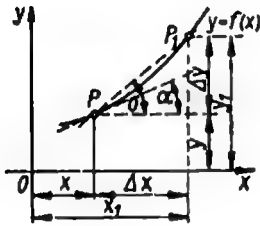
$$4! = 1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 = 24, \dots, n! = 1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot \dots \cdot n$$

### 2.6 نسب التفاضل

إن نسب التفاضل

$$\frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y_1 - y}{x_1 - x} = \frac{f(x + \Delta x) - f(x)}{\Delta x} = \tan \sigma$$

هي نسبة التزايد لمركز الإحداثيات إلى التزايد في المحاور وتمثل هذه النسبة تزايد ميل المنحني الذي يمر من خلال النقاط  $p_1$  و  $p$  (الشكل 68)



الشكل 68

### 3.6 نسب التفاضل (الاشتقاق)

الاشتقاق (نسب التفاضل)

$$y' = f'(x) = \frac{dy}{dx} = \lim_{x_1 \rightarrow x} \frac{y_1 - y}{x_1 - x} \\ = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta y}{\Delta x} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{f(x + \Delta x) - f(x)}{\Delta x} = \tan \alpha$$

هي القيمة الحدية لنسب التفاضل وتعطي ازدياد الناظم الواقع في النقطة  $P(x, y)$  على المنحني (الشكل 68).

## 4.6 قواعد الاشتقاق

الشكل	المشتق	التابع
$y = cf(x)$	$y' = cf'(x)$	التابع مع معامل ثابت
$y = x^n$	$y' = nx^{n-1}$	التابع الأسّي
$y = \sqrt{x}$	$y' = \frac{1}{2\sqrt{x}}$	التابع الجذري
$y = c$	$y' = 0$	التابع الثابت
$y = u(x) \pm v(x)$	$y' = u'(x) \pm v'(x)$	مجموع أو فرق تابعين
$y = u(x) v(x)$	$y' = u'v + uv'$	جداء تابعين
$y = \frac{u(x)}{v(x)}$	$y' = \frac{u'v - uv'}{v^2}$	قسمة تابعين
$y = f[u(x)]$	$y' = f'(u) \cdot u'(x)$ $= \frac{dy}{du} \frac{du}{dx}$	تابع التابع، قاعدة السلسلة
$y = \sqrt{u(x)}$	$y' = \frac{u'(x)}{2\sqrt{u(x)}}$	
$x = \varphi(y)$	$y' = \frac{dy}{dx} = \frac{1}{dx/dy}$	التابع العكسي

## 5.6 اشتقاق التوابع الأساسية المشتقة

التابع	المشتق
$y = e^x$	$y' = e^x$
$y = a^x$	$y' = a^x \ln a$
$y = \ln x$	$y' = \frac{1}{x}$
$y = \lg x$	$y' = \frac{1}{x \ln 10} = \frac{1}{x} \lg e$

المشتق	التابع
$y' = \cos x$	$y = \sin x$
$y' = -\sin x$	$y = \cos x$
$y' = \frac{1}{\cos^2 x} = 1 + \tan^2 x$	$y = \tan x$
$y' = -\frac{1}{\sin^2 x} = -(1 + \cot^2 x)$	$y = \cot x$
$y' = \frac{1}{\sqrt{1-x^2}} \quad ( x  < 1)$	$y = \arcsin x$
$y' = -\frac{1}{\sqrt{1-x^2}} \quad ( x  < 1)$	$y = \arccos x$
$y' = \frac{1}{1+x^2}$	$y = \arctan x$
$y' = -\frac{1}{1+x^2}$	$y = \operatorname{arccot} x$
$y' = \cosh x$	$y = \sinh x$
$y' = \sinh x$	$y = \cosh x$
$y' = \frac{1}{\cosh^2 x} = 1 - \tanh^2 x$	$y = \tanh x$
$y' = -\frac{1}{\sinh^2 x} = 1 - \coth^2 x$	$y = \coth x$
$y' = \frac{1}{\sqrt{x^2+1}}$	$y = \operatorname{ar sinh} x = \ln(x + \sqrt{x^2+1})$
$y' = \frac{1}{\sqrt{x^2-1}} \quad (x > 1)$	$y = \operatorname{ar cosh} x = \ln(x + \sqrt{x^2-1})$
$y' = \frac{1}{1-x^2} \quad ( x  < 1)$	$y = \operatorname{ar tanh} x = \frac{1}{2} \ln \frac{1+x}{1-x}$
$y' = \frac{1}{1-x^2} \quad ( x  > 1)$	$y = \operatorname{ar coth} x = \frac{1}{2} \ln \frac{x+1}{x-1}$

## 6.6 فحص المنحنيات

$y$	$y'$	$y''$	$y'''$	
	$\neq 0$	$\neq 0$	أي قيمة	موقع الصفر البسيط
	$\neq 0$	$= 0$	$\neq 0$	موقع الصفر البسيط، نقطة انعطاف على المحور $x$
$= 0$	$= 0$	$\neq 0$	أي قيمة	نقطة الصفر مضاعفة، المنحني يلامس المحور $x$
	$= 0$	$= 0$	$\neq 0$	موقع الصفر البسيط، المحور $x$ هو ناظم التحويل
	$= 0$	$< 0$	أي قيمة	نهاية عظمى
أي قيمة	$= 0$	$> 0$	أي قيمة	نهاية صغرى
	$= 0$	$= 0$	$\neq 0$	نقطة تحويل مع ناظم تحويل شاقولي
أي قيمة	$\neq 0$	$= 0$	$\neq 0$	نقطة تحويل

عندما يرى المنحني من الأسفل مقعر، هذا يعني بأن له انحناء نحو اليمين عندما يكون  $y'' < 0$

يقال بأن المنحني محدب، في حال النظر من الأسفل، هذا يعني بأن تحدبه يساوي عندما:  $y'' > 0$

$$\rho = \frac{\left( \sqrt{1 + y'^2} \right)^3}{y''}$$

نصف قطر القوس

## 7.6 المشتقات الجزئية

من أجل تابع لعدة متحولات مستقلة :  $z = f(x, y, t, \dots, w)$

يتم الاشتقاق الجزئي بالنسبة لإحدى المتحولات، عندما نعامل بقية المتحولات عند الاشتقاق كقيم ثابتة. أمثلة:

$$z = f(x, y) = 3x^2y - 2xy^3$$

$$\frac{\partial z}{\partial x} = z_x = f_x = 6xy - 2y^3 \quad \frac{\partial z}{\partial y} = z_y = f_y = 3x^2 - 6xy^2$$

$$\frac{\partial^2 z}{\partial x^2} = z_{xx} = f_{xx} = 6y \quad \frac{\partial^2 z}{\partial y^2} = z_{yy} = f_{yy} = -12xy$$

$$\frac{\partial^2 z}{\partial x \partial y} = z_{xy} = f_{xy} = 6x - 6y^2 = \frac{\partial^2 z}{\partial y \partial x} = z_{yx} = f_{yx}$$

إن التفاضل التام أو الكامل لتابع لعدة متحولات مستقلة هو:

$$dz = \frac{\partial z}{\partial x} dx + \frac{\partial z}{\partial y} dy + \dots + \frac{\partial z}{\partial w} dw$$

## 8.6 حساب الأخطاء (الارتياح)

الخطأ المطلق

$$\Delta a = a - a^*$$

حيث  $a$  القيمة التقريبية (القيمة المقاسة)

$a^*$  القيمة الدقيقة (الفعلية)

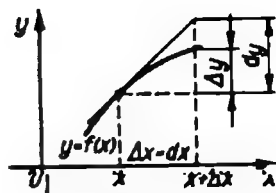
الخطأ النسبي

$$\frac{\Delta a}{a} (\Delta a \ll a)$$

الخطأ المئوي

$$\frac{\Delta a}{a} \cdot 100\%$$

عند القيمة  $y = f(x)$  التي تتعلق بخطأ  $\Delta x$  تابع  
 لقيمة  $x$ ، تكون (تحت شرط  $x \ll \Delta x$ ) القيمة  
 العظمى للخطأ المطلق (الشكل 69)



الشكل 69

$$\Delta y \approx dy$$

$$\Delta y \approx y' \Delta x \quad \text{الخطأ المطلق}$$

$$\frac{\Delta y}{y} \approx \frac{y'}{y} \Delta x \quad \text{الخطأ النسبي}$$

$y'/y$  نحصل عليها من خلال إيجاد اللوغاريتم وأخيراً التفاضل للتابع  $y = f(x)$

$$[\ln y]' = \frac{y'}{y}$$

من أجل القيمة  $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$  والتي تتعلق بخطأ قياس  $\Delta x_i$ ، بقيم قابلة  
 للقياس (قيم قياسية)  $x_i$ ، ينتج التفاضل الكلي  $dy$  مع تقريب جيد للخطأ  $\Delta y$ ،  
 إذا كان  $\Delta x_i \ll x_i$ .

$$\Delta y \approx dy = \frac{\partial y}{\partial x_1} \Delta x_1 + \frac{\partial y}{\partial x_2} \Delta x_2 + \dots + \frac{\partial y}{\partial x_n} \Delta x_n$$

ويكون الخطأ الأعظمي:

$$\Delta y_{\max} = \left| \frac{\partial y}{\partial x_1} \Delta x_1 \right| + \left| \frac{\partial y}{\partial x_2} \Delta x_2 \right| + \dots + \left| \frac{\partial y}{\partial x_n} \Delta x_n \right|$$

## 7. حساب التكامل

### 1.7 التكامل غير المحدد

التكامل هو عكس التفاضل. فتكامل تابع معطى (التكامل) هو التابع الذي إذا تم  
 اشتقاقه حصلنا على التابع الأصلي:

$$\int f(x)dx = F(x) + C \text{ عندما } F'(x) = f(x)$$

يدعى C ثابت التكامل

بسبب عدم تحديد ثوابت التكامل هناك توابع تكامل غير نهائية للمتكامل والتي تتميز فقط من خلال إضافة ثوابت ولذلك تكون منحنياتها فقط في اتجاه y ومتوازية ومنسجمة بالنسبة لبعضها.

## 2.7 التكامل الجزئي

نحصل على تكامل جزئي بالنسبة للتكامل غير المحدود، إذا أمكن تقسيم ثابت التكامل خلال الشروط الابتدائية إلى قيمة محدودة.

مثال:

$$\int x^2 dx$$

$$x = 1, \int x^2 dx = 0 \text{ (الشكل 70)}$$

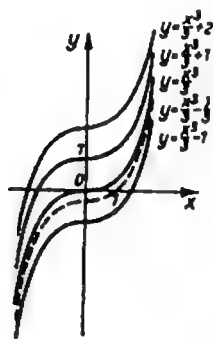
$$\int x^2 dx = \frac{x^3}{3} + C$$

الشروط الابتدائية

$$0 = \frac{1}{3} + C$$

$$C = -\frac{1}{3}$$

$$\int x^2 dx = \frac{x^3}{3} - \frac{1}{3}$$



الشكل 70



### 3.7 التكامل المحدد

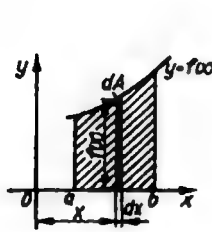
نحصل على التكامل المحدد بقيمتين ( $x = a$  و  $x = b$ ) من تكامل غير محدد والذي يتم فيه تعويض  $x$  مرة لحدود القيمة العليا والقيمة  $b$  لحدود القيمة الدنيا وقيمة التابع الناتجة تطرح من بعضهما. يهمل الثابت  $C$

$$\int_a^b f(x) dx = F(x) \Big|_a^b = F(b) - F(a)$$

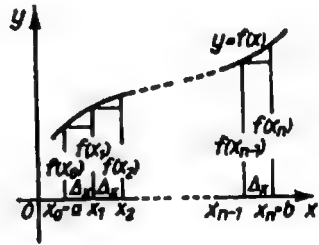
يظهر التكامل المحدد القيمة الحدية للمجموع

$$\int_a^b f(x) dx = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \sum_{x_k=a}^{x_k=b} f(x_k) \Delta x$$

إن التكامل المحدد يعطي قيمة محتوية المساحة المغلقة الواقعة تحت المنحنى ( $y = f(x)$ ) والمحدد بالمحور  $x$  وكلا محوري الأقطاب  $x = a$  و  $x = b$ . (الشكل 72)



الشكل 72



الشكل 71

قواعد الحساب مع تكاملات محددة

1. في حال كون المتكامل  $f(x)$  ضمن المجال من  $x = a$  حتى  $x = b$  سالب، يكون التكامل  $\int_a^b f(x) dx$  أيضاً سالباً، هذا يعني أن قطعة المنحنى المحدودة واقعة تحت المحور  $x$ ، ينتج (للمساحة المحصورة تحت المحور  $x$ ) قيمة سلبية للمساحة.

2. يمكن تقسيم مجال التكامل إلى أجزاء ويتم بعدها تكامل التوابع في المجالات الجزئية كل على حدة.

من 1 و 2 ينتج:

3. عندما يتطلب حساب القيمة المطلقة للمساحة تحت المنحني  $f(x)$  للحدود من  $a$  حتى  $b$  ويأخذ التابع  $f(x)$  في المجال القيمة صفر  $x_0$ ، تكون المساحة هي مجموع القيم المطلقة من

$$\int_a^{x_0} f(x)dx \quad \text{و} \quad \int_{x_0}^b f(x)dx$$

4. للمتكامل الذي يمثل توابع متناظرة نطبق الحدود للموقع المتناظر:

$$\int_{-a}^{+a} f(x)dx = 2 \int_0^a f(x)dx \quad \text{من أجل} \quad f(-x) = f(x)$$

5. في حال تبادل مجالات التكامل المحدد تحت بعضها البعض، يجب تغيير إشارة التكامل

$$\int_a^b f(x)dx = -\int_b^a f(x)dx$$

## 4.7 قواعد التكامل

التكامل والتفاضل يلغيان بعضهما البعض

$$\frac{d}{dx} \int f(x)dx = \frac{d}{dx} f(x) = f'(x),$$

$$\int f'(x)dx = \int df(x) = f(x) + C$$

يمكن وضع العامل الثابت للمتكامل قبل إشارة التكامل

$$\int af(x)dx = a \int f(x)dx$$

يمكن تكامل عناصر المجموع

$$\int [f(x) + g(x)]dx = \int f(x)dx + \int g(x)dx$$

## 5.7 التكاملات الأساسية

$$\int x^n dx = \frac{x^{n+1}}{n+1} + C \quad (n \neq -1)$$

$$\int e^x dx = e^x + C$$

$$\int \frac{1}{x} dx = \ln|x| + C$$

$$\int a^x dx = \frac{a^x}{\ln a} + C$$

$$\int \sin x dx = -\cos x + C$$

$$\int \frac{dx}{\sqrt{1-x^2}} = \arcsin x + C_1$$

$$= \arccos x + C_2$$

$$\int \cos x dx = \sin x + C$$

$$\int \frac{dx}{1+x^2} = \arctan x + C_1$$

$$= \operatorname{arccot} x + C_2$$

$$\int \frac{dx}{\sin^2 x} = \int (1 + \cot^2 x) dx = -\cot x + C$$

$$\int \frac{dx}{\cos^2 x} = \int (1 + \tan^2 x) dx = \tan x + C$$

$$\int \sinh x dx = \cosh x + C$$

$$\int \cosh x dx = \sinh x + C$$

$$\int \frac{dx}{\sinh^2 x} = \int (\coth^2 x - 1) dx = -\coth x + C$$

$$\int \frac{dx}{\cosh^2 x} = \int (1 - \tanh^2 x) dx = \tanh x + C$$

$$\int \frac{dx}{\sqrt{x^2+1}} = \operatorname{arsinh} x + C = \ln |x + \sqrt{x^2+1}| + C$$

$$\int \frac{dx}{\sqrt{x^2-1}} = \operatorname{arcosh} x + C = \ln |x + \sqrt{x^2-1}| + C \quad (x > 1)$$

$$\int \frac{dx}{1-x^2} = \operatorname{artanh} x + C = \frac{1}{2} \ln \frac{1+x}{1-x} + C \quad (|x| < 1)$$

$$\operatorname{arcoth} x + C = \frac{1}{2} \ln \frac{1+x}{1-x} + C \quad (|x| > 1)$$

## 6.7 عملية التكامل

التكامل عن طريق التعويض

التكامل هو	الطرح	$\int f(x) dx$	مثال
علاقة أحد التوابع الخطية $f(x) = \varphi(ax + b)$	$ax + b = z$ $dx = \frac{1}{a} dz$	$\frac{1}{a} \int \varphi(z) dz$	$\int \sin(ax + b) dx$ $= \frac{1}{a} \int \sin z dz$ $= -\frac{1}{a} \cos(ax + b) + C$
تابع جداء مشتق $f(x) = \varphi(x) \varphi'(x)$	$\varphi(x) = z$ $\varphi'(x) dx = dz$	$= \int \frac{dz}{z}$ $= \frac{1}{2} [\varphi(x)]^2 + C$	$\int \sin x \cos x dx$ $= \int z dz$ $= \frac{1}{2} \sin^2 x + C$
الاشتقاق عن طريق تابع $f(x) = \frac{\varphi'(x)}{\varphi(x)}$	$\varphi(x) = z$ $\varphi'(x) dx = dz$	$= \int \frac{dz}{z}$ $= \ln  \varphi(x)  + C$	$\int \cot x dx$ $= \int \frac{\cos x}{\sin x} dx$ $= \int \frac{dz}{z}$ $= \ln  \sin x  + C$
علاقة منطقية لتوابع هندسية مثلثية $f(x) = R(\sin x, \cos x, \tan x, \cot x)$	$\tan \frac{x}{2} = z$ $dx = \frac{2dz}{1+z^2}$ $\sin x = \frac{2z}{1+z^2}$ $\cos x = \frac{1-z^2}{1+z^2}$ $\tan x = \frac{2z}{1-z^2}$	$= \int R(z) dz$	$\int \frac{\cos x}{\sin x} = \int \frac{dz}{z}$ $= \ln  z  + C$ $= \ln \left  \tan \frac{x}{2} \right  + C$

### التكامل بطريقة تفريق الكسور

كل تابع غير حقيقي كسري منطقي يتمثل وفق إضافة الأجزاء كمجموع توابع منطقية كاملة وتوابع منطقية كسرية وغير حقيقية.

كل تابع حقيقي منطقي قابل للكسر يمكن تجزئته إلى أعمدة بعد تحديد موقع الصفر لتابع الصورة إلى كسور جزئية. نستخدم الفرضيات التالية حسب نوع موقع صفر تابع الصورة للتكامل:

هل مواقع الصفر:

$$\text{حقيقي ووحيد: } \frac{A}{x-x_1} + \frac{B}{x-x_2} + \frac{C}{x-x_3} + \dots$$

$$\text{حقيقي ومتعدد (n درجة): } \frac{D_n}{(x-x_g)^n} + \frac{D_{n-1}}{(x-x_g)^{n-1}} + \dots + \frac{D_1}{x-x_g}$$

$$\text{مركب ومبسط: } \frac{Px+Q}{x^2+px+q}$$

يتم إيجاد القيم  $A, B, \dots, D_n, \dots, D_1, P, Q$  من نظام المعادلات الناشئ حسب تعويض قيم خاصة للمتحوّل  $x$  أو خلال مقارنة العوامل.

### التكامل بالتجزئة

$$\int u(x)v'(x)dx = u(x)v(x) - \int v(x)u'(x)dx$$

### 7.7 تكاملات خاصة (في جميع التكاملات يجب إضافة +C)

$$\int (ax+b)^n dx = \frac{(ax+b)^{n+1}}{a(n+1)} \quad (n \neq -1)$$

$$\int \frac{dx}{ax+b} = \frac{1}{a} \ln|ax+b|$$

$$\int \frac{x dx}{ax+b} = \frac{x}{a} - \frac{b}{a^2} \ln|ax+b|$$

$$\int \frac{dx}{x(ax+b)} = \frac{1}{b} \ln \left| \frac{ax+b}{x} \right|$$

$$\int \frac{x dx}{(ax+b)^2} = \frac{b}{a^2(ax+b)} + \frac{1}{a^2} \ln|ax+b|$$

$$\int \frac{dx}{a^2 + b^2 x^2} = \frac{1}{ab} \arctan \frac{b}{a} x$$

$$\int \frac{dx}{a^2 - b^2 x^2} = \frac{1}{2ab} \ln \left| \frac{a+bx}{a-bx} \right|$$

$$\frac{1}{\sqrt{ac-b^2}} \arctan \frac{b+cx}{\sqrt{ac-b^2}} \quad \text{for } ac > b^2$$

$$\int \frac{dx}{a+2bx+cx^2} = \frac{1}{2\sqrt{b^2-ac}} \ln \left| \frac{\sqrt{b^2-ac} + b+cx}{\sqrt{b^2-ac} - b+cx} \right| \quad \text{for } b^2 > ac$$

$$\frac{1}{b+cx} \quad \text{for } b^2 = ac$$

$$\int \frac{x dx}{a^2 \pm b^2 x^2} = \pm \frac{1}{2b} \ln|a^2 \pm b^2 x^2|$$

$$\int \frac{x dx}{a+2bx+cx^2} = \frac{1}{2c} \ln|a+2bx+cx^2| - \frac{b}{c} \int \frac{dx}{a+2bx+cx^2}$$

$$\int \sqrt{b^2 x^2 \pm a^2} dx = \frac{x}{2} \sqrt{b^2 x^2 \pm a^2} \pm \frac{a^2}{2b} \ln|bx + \sqrt{b^2 x^2 \pm a^2}|$$

$$\int \sqrt{a^2 - b^2 x^2} dx = \frac{a^2}{2b} \arcsin \frac{b}{a} x + \frac{x}{2} \sqrt{a^2 - b^2 x^2}$$

$$\int x \sqrt{a^2 \pm b^2 x^2} dx = \pm \frac{1}{3b^2} (a^2 \pm b^2 x^2)^{\frac{3}{2}}$$

$$\int \frac{dx}{\sqrt{b^2 x^2 \pm a^2}} = \frac{1}{b} \ln|bx + \sqrt{b^2 x^2 \pm a^2}|$$

$$\int \frac{dx}{\sqrt{a^2 - b^2 x^2}} = \frac{1}{b} \arcsin \frac{b}{a} x$$

$$\int \frac{x dx}{\sqrt{a^2 \pm b^2 x^2}} = \pm \frac{1}{2b^2} \ln \sqrt{a^2 \pm b^2 x^2}$$

$$\int e^{ax} \sin bx \, dx = \frac{e^{ax}}{a^2 + b^2} (a \sin bx - b \cos bx)$$

$$\int e^{ax} \cos bx \, dx = \frac{e^{ax}}{a^2 + b^2} (b \sin bx + a \cos bx)$$

$$\int x \sin x \, dx = \sin x - x \cos x$$

$$\int x e^x \, dx = e^x (x - 1)$$

$$\int x \cos x \, dx = \cos x + x \sin x$$

$$\int x \ln x \, dx = \frac{x^2}{4} (2 \ln |x| - 1)$$

$$\int x^n \ln x \, dx = \frac{x^{n+1}}{(n+1)^2} (n+1) \ln |x| - 1] \quad (n \neq -1)$$

$$\int \ln x \, dx = x(\ln |x| - 1)$$

$$\int \frac{\ln x}{x} \, dx = \frac{1}{2} (\ln |x|)^2$$

$$\int \sin^2 x \, dx = \frac{1}{2} (x - \sin x \cos x)$$

$$\int \tan x \, dx = -\ln |\cos x|$$

$$\int \cos^2 x \, dx = \frac{1}{2} (x + \sin x \cos x)$$

$$\int \cos x \, dx = \ln |\sin x|$$

$$\int \frac{dx}{\cos x} = \ln \left| \tan \frac{x}{2} + \frac{\pi}{4} \right|$$

$$\int \frac{dx}{\sin x} = \ln \left| \tan \frac{x}{2} \right|$$

$$\int \sin x \cos x \, dx = \frac{1}{2} \sin^2 x$$

$$\int \frac{dx}{\sin x \cos x} = \ln |\tan x|$$

$$\left. \begin{aligned} \int \sin ax \sin bx \, dx &= \frac{1}{2} \left[ \frac{\sin(a-b)x}{a-b} - \frac{\sin(a+b)x}{a+b} \right] \\ \int \sin ax \cos bx \, dx &= -\frac{1}{2} \left[ \frac{\cos(a+b)x}{a+b} + \frac{\cos(a-b)x}{a-b} \right] \\ \int \cos ax \cos bx \, dx &= \frac{1}{2} \left[ \frac{\sin(a+b)x}{a+b} + \frac{\sin(a-b)x}{a-b} \right] \end{aligned} \right\} (a \neq b)$$

أشكال الأس ( $n = 1, 2, 3, \dots$ )

$$\int x^n e^x \, dx = x^n e^x - n \int x^{n-1} e^x \, dx$$

$$\int x^n \sin x \, dx = x^n \cos x + n \int x^{n-1} \cos x \, dx$$

$$\int x^n \cos x \, dx = x^n \sin x - n \int x^{n-1} \sin x \, dx$$

$$\int (\ln x)^n \, dx = x(\ln x)^n - n \int (\ln x)^{n-1} \, dx$$

$$\int \sin^n x \, dx = -\frac{1}{n} \sin^{n-1} x \cos x + \frac{n-1}{n} \int \sin^{n-2} x \, dx$$

$$\int \cos^n x \, dx = \frac{1}{n} \cos^{n-1} x \sin x + \frac{n-1}{n} \int \cos^{n-2} x \, dx$$

$$\left. \begin{aligned} \int \frac{dx}{\sin^n x} &= -\frac{1}{n-1} \frac{\cos x}{\sin^{n-1} x} + \frac{n-2}{n-1} \int \frac{dx}{\sin^{n-2} x} \\ \int \frac{dx}{\cos^n x} &= \frac{1}{n-1} \frac{\sin x}{\cos^{n-1} x} + \frac{n-2}{n-1} \int \frac{dx}{\cos^{n-2} x} \end{aligned} \right\} (n \neq 1)$$

$$\int \frac{x^n dx}{\sqrt{a^2 \pm x^2}} = \pm \frac{1}{n} x^{n-1} \sqrt{a^2 \pm x^2} \mp \frac{n-1}{n} a^2 \int \frac{x^{n-2}}{\sqrt{a^2 \pm x^2}} dx$$

$$\int x^n \sqrt{a^2 \pm x^2} \, dx = \frac{x^{n+1}}{n+2} \sqrt{a^2 \pm x^2} + \frac{a^2}{n+2} \int \frac{x^n}{\sqrt{a^2 \pm x^2}} dx$$

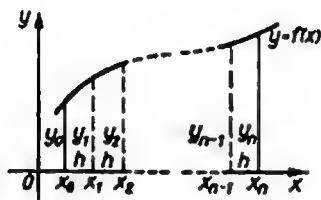


## 8.7 التكامل من خلال التقريب (التكامل العددي)

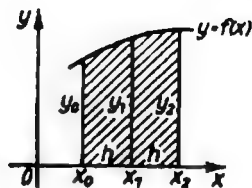
تكامل Kepler (الشكل 73)

تعطى المساحة بدقة عندما يكون  $y = f(x)$  تابع حقيقي تام من الدرجة الثالثة

$$A \approx \frac{h}{3}(y_0 + 4y_1 + y_2) \quad \text{هنا} \quad h = \frac{x_2 - x_0}{2}$$



الشكل 74



الشكل 73

قاعدة Simpson (الشكل 74)

$$A \approx \frac{h}{3}[y_0 + y_n + 2(y_2 + y_4 + \dots + y_{n-2}) + 4(y_1 + y_3 + \dots + y_{n-1})]$$

في العلاقة  $h = \frac{x_n - x_0}{n}$  يكون n مستقيم

## 9.7 تطبيقات في حساب التكامل

(المنحنيات شكل 75)

- طول القوس

$$s = \int_a^b ds = \int_a^b \sqrt{1 + y'^2} dx$$

- العزم الستاتيكي لمنحني مستوي (شكل 75) بالنسبة:

للمحور x	للمحور y
$M_x = \int_a^b y \sqrt{1 + y'^2} dx$	$M_y = \int_a^b x \sqrt{1 + y'^2} dx$

- أبعاد مركز الثقل

$y_s = \frac{M_x}{S}$	$x_s = \frac{M_y}{S}$
-----------------------	-----------------------

المساحات

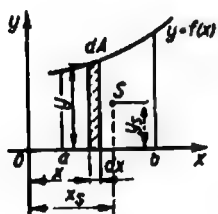
المساحة بين منحنيين (الشكل 76)

$$A = \int_a^b (y_2 - y_1) dx$$

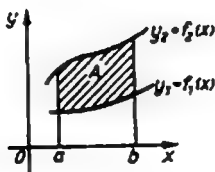
المساحة الدورانية للأجسام الدوارة

$$A_M = 2\pi \int_a^b y ds = 2\pi \int_a^b y \sqrt{1 + y'^2} dx = 2\pi y_s S$$

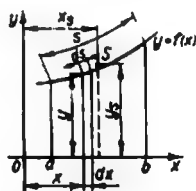
١. قاعدة Guldin: إن مساحة الجسم الدوار هي جداء طول المنحني المكون s وبعد مركز ثقل المنحني (شكل 75)



الشكل 77



الشكل 76



الشكل 75

العزم الستاتيكي للمساحة المستوية (شكل 77) بالنسبة:

للمحور x	للمحور y
$M_x = \frac{1}{2} \int_a^b y^2 dx$	$M_y = \int_a^b x \cdot y dx$

- أبعاد مركز الثقل

$x_s = \frac{M_y}{A}$	$y_s = \frac{M_x}{A}$
$(A = \int_a^b dA = \int_a^b y dx)$	

- عزم عطالة السطوح المستوية

- عزم عطالة محوري

$I_x = \int y^2 dA$	$I_y = \int x^2 dA$
---------------------	---------------------

إن عزم العطالة المحوري للمساحات التي تحدد بالمنحنى  $y = f(x)$  والمحاور الإحداثية  $x = a$  و  $x = b$  والمحور x هو:

$I_x = \frac{1}{3} \int_a^b y^3 dx$	$I_y = \int_a^b x^2 y dx$
-------------------------------------	---------------------------

يعطى عزم العطالة القطبي بالمعادلة

$$I_p = \int r^2 dA = I_x + I_y$$

للأجسام

الحجوم

$$V = \int_a^b dV = \int_a^b Q(x) dx$$

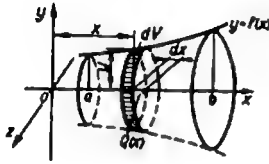
للأجسام الدوارة

$$V = \pi \int_a^b y^2 dx = 2\pi y_s A$$

2. قاعدة Guldin: إن حجم جسم دوار يساوي جداء المساحة الناتجة A وبعد مركز ثقل المساحة، (شكل 77)

العزم الستاتيكي للجسم، بالنسبة للمستوي (y-z) (شكل 78)

$$M_{yz} = \int_a^b x dV = \int_a^b x Q(x) dx = \pi \int_a^b xy^2 dx$$



الشكل 78

يعطى بعد مركز الثقل للمستوي y-z بالعلاقة

$$x_s = \frac{M_{yz}}{V}$$

## 8. السلاسل اللانهائية

### 1.8 السلاسل الأسية

نأخذ السلسلة الأسية اللانهائية الشكل

$$P(x) = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + \dots + a_n x^n + \dots = \sum_{n=0}^{\infty} a_n x^n$$

وتدعى هذه السلسلة محدبة عندما تنتهي P(x) عند قيم اعداد متزايدة غير معينة من العنصر (n → ∞) محدد إلى قيمة حدود نهائية.

إن مجال القيم لـ x من أجل سلسلة أسية محدبة هو مجال تعريفها.

يسمح ضمن السلاسل الأسية ذات المجال المحدب بشكل عناصر الجمع، والطرح، والتفاضل، والتكامل.

## - سلاسل Taylor

$$f(x) = f(a) + \frac{f'(a)}{1!}(x-a) + \frac{f''(a)}{2!}(x-a)^2 + \frac{f'''(a)}{3!}(x-a)^3 + \dots$$

$$f(x+a) = f(a) + \frac{f'(a)}{1!}x + \frac{f''(a)}{2!}x^2 + \frac{f'''(a)}{3!}x^3 + \dots$$

صيغة Mac Laurin لسلاسل Taylor:

$$f(x) = f(0) + \frac{f'(0)}{1!}x + \frac{f''(0)}{2!}x^2 + \frac{f'''(0)}{3!}x^3 + \dots$$

### أهم السلاسل الأسية

### مجال التقارب

$$(a+x)^m = a^m + \frac{m}{1!}a^{m-1}x + \frac{m(m-1)}{2!}a^{m-2}x^2 + \frac{m(m-1)(m-2)}{3!}a^{m-3}x^3 + \dots$$

$$|x| < a$$

$$(1+x)^m = 1 + \frac{m}{1!}x + \frac{m(m-1)}{2!}x^2 + \frac{m(m-1)(m-2)}{3!}x^3 + \dots \quad |x| < 1$$

$$e^x = 1 + \frac{x}{1!} + \frac{x^2}{2!} + \frac{x^3}{3!} + \dots \quad |x| < \infty$$

$$a^x = 1 + \frac{x \ln a}{1!} + \frac{x^2 (\ln a)^2}{2!} + \frac{x^3 (\ln a)^3}{3!} + \dots \quad |x| < \infty$$

$$\ln x = 2 \left[ \frac{x-1}{x+1} + \frac{1}{3} \frac{x-1}{x+1}^3 + \frac{1}{5} \frac{x-1}{x+1}^5 + \dots \right] \quad x > 0$$

$$\sin x = x - \frac{x^3}{3!} + \frac{x^5}{5!} - \frac{x^7}{7!} + \dots \quad |x| < \infty$$

$$\cos x = 1 - \frac{x^2}{2!} + \frac{x^4}{4!} - \frac{x^6}{6!} + \dots \quad |x| < \infty$$

$$\tan x = x + \frac{1}{3}x^3 + \frac{2}{15}x^5 + \frac{17}{315}x^7 + \dots \quad |x| < \frac{\pi}{2}$$

$$\cot x = \frac{1}{x} - \frac{1}{3}x + \frac{1}{45}x^3 - \frac{2}{945}x^5 \quad |x| < \pi$$

$$\arcsin x = x + \frac{1}{2} \frac{x^3}{3} + \frac{1 \times 3}{2 \times 4} \frac{x^5}{5} + \frac{1 \times 3 \times 5}{2 \times 4 \times 6} \frac{x^7}{7} + \dots \quad |x| < 1$$

$$\arctan x = x - \frac{x^3}{3} + \frac{x^5}{5} - \dots \quad |x| \leq 1$$

$$\sinh x = x + \frac{x^3}{3!} + \frac{x^5}{5!} + \dots \quad |x| < \infty$$

$$\cosh x = 1 + \frac{x^2}{2!} + \frac{x^4}{4!} + \dots \quad |x| < \infty$$

## 2.8 سلاسل Fourier

كل تابع دوري

$$f(x) = f(x + nT)$$

حيث (T) الدور،  $(\omega = \frac{2\pi}{T})$ ، يمكن تمثيله من خلال سلسلة Fourier (سلسلة هندسية) من الشكل:

$$\begin{aligned} f(x) &= a_0 + a_1 \cos \omega x + a_2 \cos 2\omega x + a_3 \cos 3\omega x + \dots \\ &\quad + b_1 \sin \omega x + b_2 \sin 2\omega x + b_3 \sin 3\omega x + \dots \\ &= \sum_{n=0}^{\infty} (a_n \cos n\omega x + b_n \sin n\omega x) \end{aligned}$$

يتم حساب ثوابت سلسلة Fourier حسب صيغة Euler:

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_0^T f(x) dx \quad b_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(x) \sin n\omega x dx$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(x) \cos n\omega x dx \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

في التوابع التي يكون لمنحنياتها بالنسبة لمحور معين نفس الشكل يكون لها نفس المساحة (الشكل 79)

$$a_0 = 0 \quad (a_0 \text{ الإحداثي الوسطي})$$

في التوابع الفردية يكون  $[f(x) = -f(-x)]$  كما في (الشكل 80)

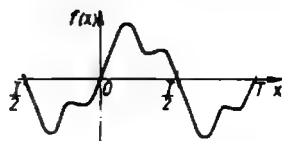
$$a_0 = \frac{2}{T} \int_0^T f(x) dx \quad b_n = 0$$

$$a_n = \frac{4}{T} \int_0^T f(x) \cos n\omega x dx$$

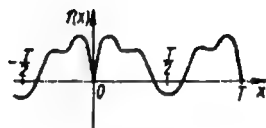
في التوابع الزوجية يكون  $[f(x) = f(-x)]$  كما في (الشكل 81)

$$a_0 = 0 \quad a_n = 0$$

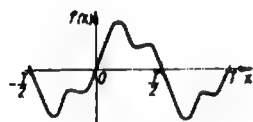
$$b_n = \frac{4}{T} \int_0^T f(x) \sin n\omega x dx$$



الشكل 79



الشكل 80



الشكل 81

أهم سلاسل Fourier

( $\omega = 1$  أي  $T = 2\pi$ )

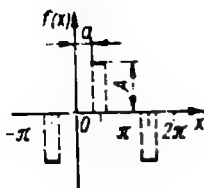
المنحنيات المستطيلة (الشكلين 82 a و b)

$$a) f(x) = \frac{4A}{\pi} \left( \sin x + \frac{1}{3} \sin 3x + \frac{1}{5} \sin 5x + \dots \right)$$

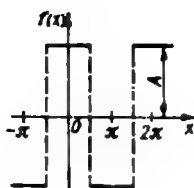
$$b) f(x) = \frac{4A}{\pi} \left( \cos x - \frac{1}{3} \cos 3x + \frac{1}{5} \cos 5x - \dots \right)$$

- المستطيل ذو النبضة (الشكل 82c)

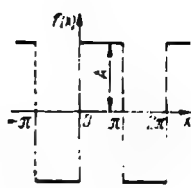
$$c) f(x) = \frac{4A}{\pi} \left( \cos a \sin x + \frac{\cos 3a}{3} \sin 3x + \frac{\cos 5a}{5} \sin 5x + \dots \right)$$



الشكل 82c



الشكل 82b

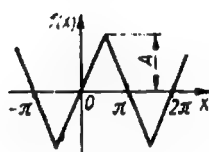


الشكل 82a

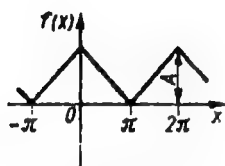
- المنحني ذو الشكل المثلثي (الأشكال 82d....g)

$$d) f(x) = \frac{8A}{\pi^2} \left( \sin x - \frac{\sin 3x}{3^2} + \frac{\sin 5x}{5^2} - + \dots \right)$$

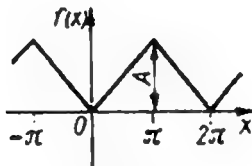
$$e) f(x) = \frac{8A}{\pi^2} \left( \cos x + \frac{\cos 3x}{3^2} + \frac{\cos 5x}{5^2} + \dots \right)$$



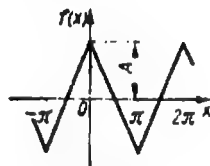
الشكل 82d



الشكل 82g



الشكل 82f



الشكل 82e

$$f) f(x) = \frac{A}{2} \left[ 1 - \frac{8}{\pi^2} \left( \cos x + \frac{\cos 3x}{3^2} + \frac{\cos 5x}{5^2} + \dots \right) \right]$$

$$g) f(x) = \frac{A}{2} \left[ 1 + \frac{8}{\pi^2} \left( \cos x + \frac{\cos 3x}{3^2} + \frac{\cos 5x}{5^2} + \dots \right) \right]$$



- منحنيات السن القائم (الأشكال 82h...k)

$$h) f(x) = -\frac{2A}{\pi} \left( \sin x + \frac{\sin 2x}{2} + \frac{\sin 3x}{3} + \dots \right)$$

$$i) f(x) = \frac{2A}{\pi} \left( \sin x - \frac{\sin 2x}{2} + \frac{\sin 3x}{3} - \dots \right)$$

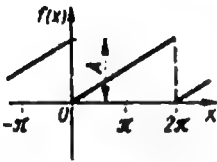
$$k) f(x) = \frac{A}{2} \left[ 1 - \frac{2}{\pi} \left( \sin x + \frac{\sin 2x}{2} + \frac{\sin 3x}{3} + \dots \right) \right]$$

- منحنى شبه المنحرف (شبه المنحرف متساوي الساقين) (الشكل 82l)

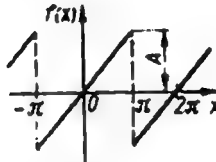
$$l) f(x) = \frac{4A}{\pi} \left( \sin a \sin x + \frac{\sin 3a \sin 3x}{3^2} + \frac{\sin 5a \sin 5x}{5^2} + \dots \right)$$

- أقواس القطع الزائد (الشكل 82m)

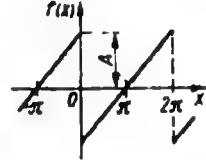
$$m) f(x) = \frac{A}{3} - \frac{4A}{\pi^2} \left( \cos x - \frac{\cos 2x}{2^2} + \frac{\cos 3x}{3^2} - \dots \right)$$



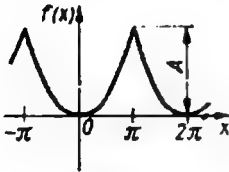
الشكل 82k



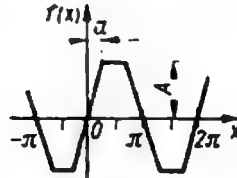
الشكل 82i



الشكل 82h



الشكل 82m



الشكل 82l

- الجيب النبضي (الاتجاه ذو طريق واحد) (الشكل 82n)

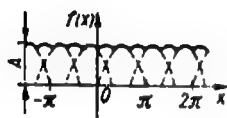
$$n) f(x) = \frac{A}{\pi} \left[ 1 + \frac{\pi}{2} \sin x - 2 \left( \frac{\cos 2x}{1.3} + \frac{\cos 4x}{3.5} + \frac{\cos 6x}{5.7} + \dots \right) \right]$$

- منحني الجيب متساوي الاتجاه (معادلة ذات طريقين) (الشكل 82o)

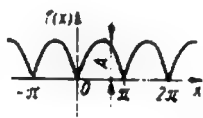
$$o) f(x) = \frac{2A}{\pi} \left[ 1 - 2 \left( \frac{\cos 2x}{1.3} + \frac{\cos 4x}{3.5} + \frac{\cos 6x}{5.7} + \dots \right) \right]$$

- التيار الدوار ذو الاتجاه المتساوي (الشكل 82p)

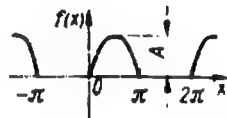
$$p) f(x) = \frac{3A}{\pi} \left[ 1 - 2 \left( \frac{\cos 6x}{5.7} + \frac{\cos 12x}{11.13} + \frac{\cos 18x}{17.19} + \dots \right) \right]$$



الشكل 82p



الشكل 82o



الشكل 82n

## 9. المعادلات التفاضلية

### 1.9 المعادلة التفاضلية من الدرجة الأولى

التكامل بفصل المتحولات

نموذج المعادلة

$$y' = g(x) \cdot h(y)$$

يتم الحل عن طريق فصل المتحولات ونحسب التكامل التالي:

$$\int \frac{dy}{h(y)} = \int g(x) dx + C$$

نموذج المعادلة:

$$\begin{array}{ll}
 y' = f(ax + by + c) & y' = f\left(\frac{y}{x}\right) \\
 u = ax + by + c & u = \frac{y}{x} \\
 u' = a + by' & u' = \frac{y - u}{x} \\
 u' = a + bf(u) & u' = \frac{1}{x}[f(u) - u]
 \end{array}$$

## 2.9 المعادلات التفاضلية الخطية من الدرجة الأولى والثانية

المعادلات التفاضلية الخطية من الدرجة الأولى

الشكل العام  $y' + f(x)y = s(x)$

حل المعادلة المتجانسة  $y' + f(x)y = 0$

بفصل المتحولات والتكامل التالي

$$y_h = K e^{-\int f(x) dx}$$

حل المعادلة غير المتجانسة [تابع التشويش  $s(x)$ ] من خلال تحويل الثوابت، في حل المعادلة المتجانسة نعوض الثابتة  $K$  بعلاقة (غير معروفة بعد) هي  $K(x)$

ثم نعوض  $y = K(x)e^{-\int f(x) dx}$  والمشتق  $y'$  التابع لها في المعادلة غير المتجانسة، مما ينتج المعادلة من أجل  $K(x)$ ، ومنه:

$$K(x) = \int \left[ s(x) e^{\int f(x) dx} \right] dx + C$$

الحل العام للمعادلة غير المتجانسة من الدرجة الأولى:

$$y = e^{-\int f(x)dx} \left\{ \int \left[ s(x)e^{\int f(x)dx} \right] dx + C \right\}$$

المعادلات التفاضلية الخطية من الدرجة الثانية مع عوامل ثابتة

$$y'' + a_1 y' + a_0 y = s(x) \quad \text{الشكل العام}$$

$$y'' + a_1 y' + a_0 y = 0 \quad \text{حل المعادلة المتجانسة}$$

$$k^2 + a_1 k + a_0 = 0 \quad \text{المعادلة المميزة هي}$$

$$k_{1,2} = -\frac{a_1}{2} \pm \sqrt{\frac{a_1^2}{4} - a_0} \quad \text{ومنه}$$

الحل العام للمعادلة المتجانسة هو:

$$y_h = C_1 e^{k_1 x} + C_2 e^{k_2 x} \quad (a) \quad \text{من أجل } k_1 \neq k_2 \text{ جذور حقيقية}$$

$$k_1 = k_2 = \frac{a_1}{2} = \rho \quad \text{من أجل } y_h = (C_1 x + C_2) e^{-\rho x} \quad (b)$$

$$y_h = e^{-\rho x} (A \cos \omega x + B \sin \omega x) \quad (c)$$

$$\text{من أجل } \left( k_{1,2} = -\rho \pm j\omega, \rho = \frac{a_1}{2}, \omega = \frac{1}{2} \sqrt{4a_0 - a_1^2} \right) \quad k_1 \text{ و } k_2 \text{ جذران عقديان}$$

حيث  $C_1, C_2, A, B$  ثوابت التكامل.

- حل المعادلة غير المتجانسة:

















إن الحل العام للمعادلة غير المتجانسة ينتج كمجموع الحل العام للمعادلة المتجانسة والحل الخاص للمعادلة غير المتجانسة.

















$$y = y_h + y_p$$

فرضيات الحل لتحديد الحل الخاص للمعادلة غير المتجانسة:

الشرط	الفرض $y_p =$	تابع الاضطراب $s(x) =$
$a_0 \neq 0$ (يظهر $y$ )	$b_0 + b_1x + \dots + b_mx^m$ [من الدرجة $m$ مثل $s(x)$ ]	$s_0 + s_1x + \dots + s_mx^m$ (مضلع من الدرجة $m$ )
$a_0 = 0$ (عدم ظهور $y$ )	$x(b_0 + b_1x + \dots + b_mx^m)$	
$a_0 = a_1 = 0$ (عدم ظهور $y, y'$ )	$x^2(b_0 + b_1x + \dots + b_mx^m)$	
$m \neq k_1, k_2$ ( $m$ ليس حلاً لمميز المعادلة)	$b e^{mx}$ [بنفس السبب حيث $m$ مثل $s(x)$ ]	$B e^{mx}$ تابع أسي
$m = k_2$ أو $m = k_1$ ( $m$ هو حل للمعادلة)	$bx e^{mx}$	
$m = k_1 = k_2$ ( $m$ حلاً مضاعف لمميز المعادلة)	$bx^2 e^{mx}$	
$jm \neq k_1, k_2$ ( $jm$ ليست حلاً لمميز المعادلة)	$a \cos mx + b \sin mx$ [بنفس السبب $m$ مثل $s(x)$ ]	$A \cos mx + B \sin mx$ (جيب و/أو تابع التنجيب)
$jm = j\omega$ ( $jm$ هي حلاً لمميز المعادلة)	$x(a \cos mx + b \sin mx)$	

# الرياضيات

الوصف	رمز التوصيل	الوصف	رمز القسم والعمليات	روابط المعنوية الخفية	التابع
		تابع يدرس إلى الكاف	$\bar{x}_1 \wedge \bar{x}_0$ $= x_1 \downarrow x_0$	$k_0^2$	$\gamma_0^2$
		تابع يدرس إلى الكاف	$\bar{x}_1 \bar{x}_0 \vee x_1 x_0$ $= x_1 = x_0$	$k_0^2 \vee k_1^2$	$\gamma_0^2$
		المقلب	$\bar{x}_0$	$k_0^2 \vee k_1^2$	$\gamma_{10}^2$
		المقلب	$x_1 \vee \bar{x}_0$ $= x_1 \leftarrow x_0$	$k_0^2 \vee k_1^2 \vee k_2^2$	$\gamma_{11}^2$
		المقلب	$\bar{x}_1$	$k_0^2 \vee k_1^2$	$\gamma_{12}^2$
		المقلب	$\bar{x}_1 \vee x_0$ $= x_1 \rightarrow x_0$	$k_0^2 \vee k_1^2 \vee k_2^2$	$\gamma_{11}^2$
		تابع شفرة إلى التابع الواحد	$\bar{x}_1 \vee \bar{x}_0$ $= x_1   x_0$	$k_0^2 \vee k_1^2 \vee k_2^2$	$\gamma_{10}^2$
		تابع شفرة إلى التابع الواحد	$L$	$k_0^2 \vee k_1^2 \vee k_2^2 \vee k_3^2$	$\gamma_{10}^2$

الوصف	رمز التوصيل	الموصف	رمز القيم والعمليات	روابط المتغيرة المختارة	التابع
		تابع باعزس إلى المكافئ	$\bar{x}_1 \wedge \bar{x}_0$ $= x_1 \downarrow x_0$	$k_0^2$	$Y_2^2$
			$\bar{x}_1 \bar{x}_0 \vee x_1 x_0$ $= x_1 \equiv x_0$	$k_0^2 \vee k_3^2$	$Y_4^2$
		السالب	$\bar{x}_0$	$k_0^2 \vee k_3^2$	$Y_{10}^2$
			$x_1 \vee \bar{x}_0$ $= x_1 \leftarrow x_0$	$k_0^2 \vee k_3^2 \vee k_3^1$	$Y_{11}^2$
		السالب	$\bar{x}_1$	$k_0^2 \vee k_1^2$	$Y_{12}^2$
			$\bar{x}_1 \vee x_0$ $= x_1 \rightarrow x_0$	$k_0^2 \vee k_1^2 \vee k_3^1$	$Y_{13}^2$
		تابع شيرة إلى التابع الواحد	$\bar{x}_1 \vee \bar{x}_0$ $= x_1   x_0$	$k_0^2 \vee k_1^2 \vee k_3^2$	$Y_{14}^2$
			L	$k_0^2 \vee k_1^2 \vee k_3^2 \vee k_3^1$	$Y_{15}^2$

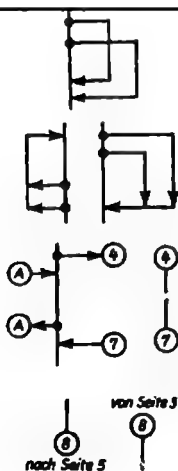
النظام - الثاني

النظام	الأوزان	Aiken	Gray	التوازن (تبريف الأخطاء)	Hamming (تصحيح الأخطاء)
		2421		$\begin{pmatrix} 5 \\ 2 \end{pmatrix}$	
0	0000	0000	0000	0100001	0000000
1	0001	0001	0001	0100010	0001011
2	0010	0101	0010	0100100	0010101
3	0011	0110	0011	0101000	0011110
4	0100	0111	0110	0110000	0100110
5	0101	1000	0111	0010001	0101101
6	0110	1001	0101	0100010	0110011
7	0111	1010	0100	0100010	0111000
8	1000	1011	1100	1001000	1000111
9	1001	1100	1101	1010000	1001100



## تمثيل مجريات البرنامج

طريقة الصناديق الصغيرة	طريقة خطوط البرنامج
ترتيب العمليات (دلائل)	معطيات وتناج
لخط البرنامج	البرنامج
	العملية، بشكل عام
	عملية يدوية
تفرع خط البرنامج	تفرع البرنامج
(قفزة في نتيجة عملية مقارنة)	(مقارنة العملية)
تأدية خط البرنامج	خط البرنامج
	تنظيم الشروحات

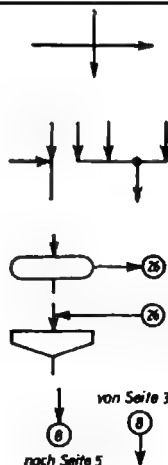


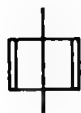
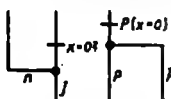
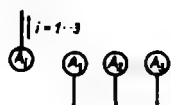
تقاطع خطوط البرنامج

متابعة خطوط البرنامج

رسم - (القطع ومتابعة خطوط البرنامج بأسباب تتعلق بالرسم)

صفحات - (لقطع ومتابعة خطوط البرنامج على صفحة أخرى)





متغيرات (لمضاعفة تشعب  
خط البرنامج

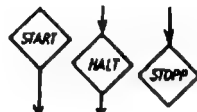
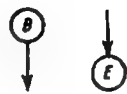
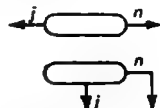
رمز الطرق إلى التفرعات  
(كتاب نتائج المقارنة)

مربع البرامج الأدنى، جزء من  
البرنامج (معطيات قيم  
الدخول وقيم المحصلة بواسطة  
خط متوازي)

بداية ولهاية برنامج أدنى،  
برنامج جزئي (لا يضم  
البرنامج الأدنى) أجزاء البرنامج  
خارج الخط الرئيسي للبرنامج

بداية ولهاية البرنامج

خط التوازي (ترتيب  
الملاحظات ومعطيات التفرعات  
لخط البرنامج)



رموز لوصف العمليات

الرمز	المعنى	الشرح
$\Leftarrow$	ينتج	قمة السهم أو نقطة مضاعفة تدل على النتيجة
أو		مثلاً: $i \Leftarrow i + 1$ أو $i := i + 1$
$:=$		
$\rightarrow$	نقل	مثلاً $a \rightarrow b$

الرمز	المعنى	الشرح
<>	محتوى (خلية مخزنة)	مثلاً $\langle B \rangle = a$
<<>>	محتوى مطروح (الخلية مخزنة)	مثلاً $\langle\langle C \rangle\rangle = D$
><	عنوان (خلية مخزنة)	مثلاً $\langle a \rangle = B$

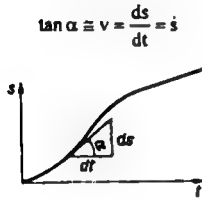
# الفيزياء

## 1. الحركة

$\varphi$ زاوية الدوران rad	$r$ البعد عن نقطة الدوران m
$a$ التسارع $m/s^2$	$s$ المسافة m
$\alpha$ التسارع الزاوي $1/s^2$	$t$ الزمن s
$\omega$ السرعة الزاوية $1/s$	$v_0$ السرعة الابتدائية m/s
$\omega_0$ السرعة الزاوية الابتدائية $1/s$	$v$ السرعة m/s

### 1.1 الحركة الانسحابية (الانتقالية)

مخطط المسافة - الزمن (المنحني)  $(s, t)$

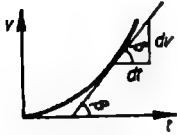


الشكل 83

يبين الشكل (83) مخطط للمسافة المقطوعة خلال زمن محدد. ويلاحظ من الشكل أنه بزيادة ميل المنحني تزداد قيمة المسافة المقطوعة وبالتالي يمكن تعريف السرعة اللحظية بأنها نسبة تفاضل المسافة على الزمن.

### مخطط السرعة - الزمن (المنحني $v, t$ )

$$\tan \beta = a = \frac{dv}{dt} = \dot{v} = \ddot{s}$$



الشكل 84

يبين الشكل (84) مخطط تغير السرعة مع الزمن. يلاحظ من الشكل أنه بازدياد ميل المنحني تزداد قيمة السرعة. وبالتالي يمكن تعريف التسارع  $a$  بأنه نسبة تفاضل السرعة على الزمن.

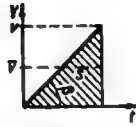
إن المساحة المحصورة تحت المنحني تطابق المسافة المقطوعة.

### الحركة المنتظمة (الشكل 85)

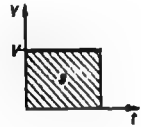
$$\text{السرعة ثابتة} \quad v = \frac{s}{t}$$



الشكل 87



الشكل 86



الشكل 85

### الحركة المتسارعة المنتظمة بدون ابتدائية (الشكل 86)

$$a = \frac{v}{t} = \text{const} = \tan \beta$$

$$v = at = \sqrt{2as}$$

$$s = \frac{vt}{2} = \frac{at^2}{2}$$

$$\bar{v} = \frac{v}{2} = \frac{at}{2} = \frac{s}{t}$$

تزداد السرعة بانتظام من السكون (شكل 86)

السرعة بعد زمن  $t$  أو حسب المسافة المقطوعة  $s$

المسافة المقطوعة في الزمن  $t$

السرعة المتوسطة

الحركة المتسارعة المنتظمة مع سرعة ابتدائية (الشكل 87)

$$a = \frac{v - v_0}{t} = \text{Const} = \tan \beta \quad \text{تردد السرعة بانتظام}$$

$$v = v_0 + at = \sqrt{v_0^2 + 2as} \quad \text{السرعة بعد زمن } t \text{ أو المسافة المقطوعة } s$$

$$s = v_0 t + \frac{at^2}{2} = \frac{t}{2}(v_0 + v) \quad \text{المسافة المقطوعة في الزمن } t$$

$$\bar{v} = \frac{v_0 + v}{2} = v_0 + \frac{at}{2} = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad \text{السرعة الوسطية}$$

ملاحظة: في الحركات المتباطئة يتخذ التسارع  $a$  إشارة سالبة.

## 2.1 السقوط والقذف

السقوط الحر

$$v = gt = \sqrt{2gh}^{(1)} \quad \text{سرعة السقوط بعد زمن } t \text{ أو ارتفاع السقوط}$$

$$h = \frac{vt}{2} = \frac{gt^2}{2} \quad \text{ارتفاع السقوط، المسافة المقطوعة في الزمن } t$$

القذف الشاقولي<sup>(2)</sup>

$$v = v_0 + gt = \sqrt{v_0^2 + 2gh} \quad \text{السرعة بعد زمن } t \text{ أو ارتفاع القذف}$$

$$h = v_0 t + \frac{gt^2}{2} = \frac{t}{2}(v_0 + v) \quad \text{ارتفاع السقوط بعد زمن } t$$

<sup>(1)</sup> يجب اعتبار مقاومة الهواء

<sup>(2)</sup> انتبه عند القذف إلى أعلى يجب تموضع  $g$  بإشارة سالبة

$$h_{\max} = -\frac{v_0^2}{2g}$$

الارتفاع الأقصى عند القذف إلى الأعلى

$$t_{\max} = -\frac{v_0}{g} = \frac{2h_{\max}}{v_0}$$

الزمن اللازم لبلوغ الارتفاع الأقصى

القذف الأفقي (الشكل 88)

$$s = v_0 t = v_0 \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

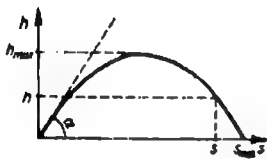
المسافة بالاتجاه الأفقي

$$h = \frac{gt^2}{2}$$

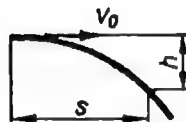
المسافة بالاتجاه الشاقولي

$$v_B = \sqrt{v_0^2 + g^2 t^2}$$

سرعة المسار بعد مرور الزمن  $t$



الشكل 89



الشكل 88

القذف المائل للأمام (شكل 89)

$$s = v_0 t \cos \alpha$$

مسافة القذف بعد مرور الزمن  $t$

$$h = v_0 t \sin \alpha - \frac{gt^2}{2}$$

ارتفاع القذف بعد مرور الزمن  $t$

$$v_B = \sqrt{v_0^2 - 2gh}$$

سرعة المسار

$$s_{\max} = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}$$

أكبر مسافة للقذف

$$t_s = \frac{2v_0 \sin \alpha}{g}$$

الزمن اللازم لبلوغ المسافة  $s_{\max}$

$$h_{\max} = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}$$

أكبر ارتفاع للقذف

$$t_h = \frac{v_0 \sin \alpha}{g}$$

الزمن اللازم لبلوغ الارتفاع  $h_{\max}$

### 3.1 الحركة الدورانية

(s) المسافة

( $\phi$ ) زاوية الدوران

(v) السرعة

( $\omega$ ) السرعة الزاوية

(a) التسارع

( $\alpha$ ) التسارع الزاوي

الحركة الدورانية المنتظمة (شكل 90)

السرعة الزاوية وعدد الدورات ثابت

$$\omega = \frac{\phi}{t} = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} = \frac{v}{r}$$

f التردد بالهرتز  $\text{Hz} = \text{s}^{-1}$

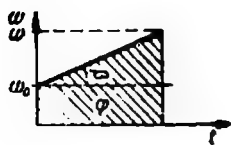
T زمن الدوران

$$\omega / \text{s}^{-1} = \frac{\pi}{30} n / \text{min}^{-1}$$

v السرعة المحيطية على بعد r

n عدد دورات بـ  $\text{min}^{-1}$

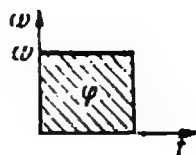




الشكل 92



الشكل 91



الشكل 90

الحركة الدورانية المتسارعة بانتظام بدون سرعة ابتدائية (الشكل 91)

$$\alpha = \frac{\omega}{t} = \frac{a}{r} = \tan \beta \quad a \text{ التسارع على المحيط وعلى بعد } r$$

يزداد عدد الدورات والسرعة الزاوية من السكون بانتظام

$$\omega = \alpha t = \sqrt{2\alpha\varphi} \quad \text{السرعة الزاوية بعد مرور الزمن } t \text{ أو الدوران حول الزاوية } \varphi$$

$$\varphi = \frac{\omega t}{2} = \frac{\alpha t^2}{2} \quad \text{الزاوية الممسوحة في الزمن } t$$

$$\bar{\omega} = \frac{\alpha t}{2} = \frac{\varphi}{t} \quad \text{السرعة الزاوية الوسطية}$$

الحركة الدورانية المتسارعة بانتظام مع سرعة ابتدائية (الشكل 92)

$$\alpha = \frac{\omega - \omega_0}{t} = \tan \beta \quad \text{تزداد السرعة الزاوية وعدد الدورات بانتظام}$$

$$\omega = \omega_0 + \alpha t = \sqrt{\omega_0^2 + 2\alpha\varphi} \quad \text{السرعة الزاوية بعد زمن } t \text{ أو الدوران الزاوي } \varphi$$

$$\varphi = \omega_0 t + \frac{\alpha t^2}{2} = (\omega_0 + \omega) \quad \text{الزاوية المقطوعة في الزمن } t$$

$$\bar{\omega} = \frac{\omega_0 + \omega}{2} = \omega_0 + \frac{\alpha t}{2} = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} \quad \text{السرعة الزاوية الوسطية}$$

انتبه: عندما تكون الحركة متباطئة ينبغي أن تكون  $\alpha$  سالبة.

العلاقات بين  $\omega$ ،  $T$ ،  $f$ ،  $v$

في أي زمن عشوائي ؛ نطبق العلاقات التالية في جميع أنواع الحركة الدورانية:

$$\begin{aligned} \omega &= 2\pi f = \frac{2\pi}{T} = \frac{v}{r} \\ f &= \text{التردد } \text{Hz} = \text{s}^{-1} \\ T &= \text{زمن الدورة} \\ v &= \text{السرعة المحيطية على بعد } r \\ &\text{مثلاً سرعة مقطوعة} \\ n &= \text{عدد الدورات } \text{min}^{-1} \\ \omega/\text{s}^{-1} &= \frac{\pi}{30} n/\text{min}^{-1} \\ &= 0.105 n/\text{min}^{-1} \end{aligned}$$

الحركة المحيطية

$$\begin{aligned} s &= \varphi r \\ v &= \omega r \\ a &= \alpha r \end{aligned}$$

$r$  هي المسافة بين مركز الدوران والنقطة التي يتم من أجلها تحديد  $a$ ,  $v$ ,  $s$

## 2. القوانين الأساسية في الديناميك

- I' القوة مقاسة بالواحدة N
- (i) قوة الثقالة مقاسة بالواحدة N
- III الكتلة مقاسة بالواحدة kg
- I' الاستطاعة مقاسة بالواحدة W
- s البعد بين نقطة المركز، ونقطة الدوران مقاس بالواحدة m
- I عزم عطالة الكتلة الدوارة  $\text{kg} \cdot \text{m}^2$
- I<sub>v</sub> عزم العطالة بالنسبة لمحور مار من مركز الثقل
- I<sub>h</sub> عزم العطالة بالنسبة لمحور الدوران الموازي للمحور المار من مركز الثقل والواقع على بعد s

W العمل والقدرة مقاسة بالوحدة J

## 1.2 الحركة الانسحابية

$$F = ma \quad \text{القانون الأساسي في التحريك}$$

$$G = mg \quad \text{القوة F وقوة الثقالة G مقاسة بالوحدة N}$$

الطاقة، العمل، والاستطاعة

$$W_p = Gh = mgh \quad \text{الطاقة الكامنة مقاسة بالوحدة J}$$

$$W_k = \frac{mv^2}{2} \quad \text{الطاقة الحركية مقاسة بالوحدة J}$$

$$\Delta W_k = \frac{m(v_2^2 - v_1^2)}{2} \quad \text{التغير في الطاقة الحركية}$$

$$W = F.s \quad \text{العمل مقاس بالوحدة J، في حال تغير القوة F بانتظام}$$

يتم تعويض القوة الوسطية

$$W = F.s \cos \alpha \quad \text{العمل، في حال القوة والاتجاه يشكلان زاوية } \alpha$$

$$W = \int_{s_1}^{s_2} F \cos \alpha \, ds \quad \text{العمل، عندما تكون القوة غير ثابتة، وإنما تابعة للمسافة}$$

$$P = \frac{W}{t} = F_v \quad \text{الاستطاعة مقاسة بالوحدة W}$$

$$\eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}} \quad \text{المردود}$$

الدفع

$$p = mv \quad \text{الدفع مقاس بالوحدة kg m/s، قيمة الحركة}$$

$$\Delta p = m \Delta v = F \Delta t \quad \text{تغير الدفع = التشغيل، قوة الصدم مقاسة بالوحدة Ns}$$

$$(m_1 + m_2) v = m_1 v_1 + m_2 v_2 \quad \text{مجموع دفع نظام مغلق يبقى ثابت (قانون حفظ الدفع)}$$

## الصدمة المركزي المستقيم مرن جزئياً

$$\text{سرعة الجسم (1) بعد الصدمة} \quad w_1 = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2 - m_2 (v_1 - v_2)k}{m_1 + m_2}$$

$$\text{سرعة الجسم (2) بعد الصدمة} \quad w_2 = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2 + m_1 (v_1 - v_2)k}{m_1 + m_2}$$

$$\text{تغير العمل = الضياع في الطاقة الحركية} \quad \Delta W = \frac{m_1 m_2}{2(m_1 + m_2)} (v_1 - v_2)^2 (1 - k^2)$$

$$\text{عامل الصدمة من التجربة؛ } h_1 \text{ ارتفاع} \quad k = \sqrt{\frac{h_1}{h}}; \quad 0 < k < 1$$

بعد الصدمة،  $h$  ارتفاع السقوط

$k = 0$  غير مرن (بلاستيكي)

$$\text{السرعة المشتركة بعد الصدمة} \quad w = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2}$$

$$\text{تغير العمل = الضياع في الطاقة الحركية} \quad \Delta W = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} \frac{(v_1 - v_2)^2}{2}$$

$k = 1$  المرن، حيث

$$\text{سرعة الجسم } m_1 \text{ بعد الصدمة} \quad w_1 = \frac{2(m_1 v_1 + m_2 v_2)}{m_1 + m_2} - v_1$$

$$\text{سرعة الجسم } m_2 \text{ بعد الصدمة} \quad w_2 = \frac{2(m_1 v_1 + m_2 v_2)}{m_1 + m_2} - v_2$$

## 2.2 الحركة الدورانية

عزم الدوران

هذه العلاقة تطبق في السكون والحركة

$$M = F \cdot r$$

$$= J \alpha = J \frac{\Delta \omega}{t}$$

تطابق في الحركة الدورانية المتسارعة

$\Delta \omega$  تغير السرعة الزاوية خلال الزمن  $t$

عزم العطالة الكتلي

$$J = \sum mr^2 = \frac{M}{\alpha} = \frac{Mt}{\Delta\omega}$$

تطبق دائماً

$$J = mr^2$$

تطبق للنقطة المادية والحلقات الدائرية الرقيقة

قانون Steiner، لتحويل حساب

عزم العطالة الكتلي بالنسبة لمحور يبعد مسافة s من محور مركز الثقل.

$$J_A = J_c + ms^2$$

المحاور يجب أن تكون متوازية

العمل والاستطاعة

$$W_r = \frac{J\omega^2}{2}$$

طاقة الدوران مقاسة بالواحدة J

تغير الطاقة بالحركة الدورانية المتسارعة

$$\Delta W_r = \frac{J(\omega_2^2 - \omega_1^2)}{2}$$

مثلاً: عملية تغير السرعة لمحور يدور بـ  $\omega_1$  مقارنة مع محور ساكن

$$\Delta W_r = \frac{1}{2} \frac{J_1 J_2}{J_1 + J_2} \omega_1^2; \quad \omega_2 = 0$$

العمل (J)، في حال تغير M بانتظام، ينبغي تعويض القيمة الوسطية لها.  $\varphi$  (rad)

$$W = M\varphi$$

قانون العمل عندما يكون عزم الدوران غير ثابت وإنما تابع للزاوية

$$W = \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} M d\varphi$$

الاستطاعة مقاسة بالواحدة W

$$P = \frac{W}{t} = M\omega$$

الاستطاعة W حيث n عدد الدورات  $\text{min}^{-1}$

$$P/W = \frac{\pi}{30} M / \text{Nm.n} / \text{min}^{-1}$$

### الدفع الدوراني

$$L = J\omega \quad \text{الدفع الدائري، بـ } \text{kg m}^2 \text{ s}^{-1}$$

$$\Delta L = J\Delta\omega = Mt = Frt \quad \text{التغير في الدفع الدائري = عزم التشغيل}$$

$$(J_1 + J_2) \omega = J_1 \omega_1 + J_2 \omega_2 \quad \text{إن مجموع الدفع الدوراني لنظام مغلق هو ثابت.}$$

$$\omega_{\text{tot}} = \frac{J_1 \omega_1}{J_1 + J_2} \quad \text{قانون حفظ الدفع الدوراني) مثلاً عملية تغيير السرعة}$$

$$\text{حيث } \omega_{\text{tot}} \text{ هي السرعة الدورانية المشتركة } (\omega_2 = 0)$$

### القوة الطاردة المركزية

$$a_z = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r \quad \text{التسارع المركزي } r \text{ البعد عن مركز الثقل}$$

$$F_z = \frac{mv^2}{r} = m\omega^2 r \quad \text{القوة الطاردة المركزية } N, \text{ على بعد } r \text{ عن مركز الثقل}$$

$$C = 2 m u \omega \quad \text{قوة Coriolis بالـ } N$$

$$u \text{ السرعة القطرية، هذا يعني السرعة عند الحركة من}$$

$$\text{نقطة الدوران}$$

## 3. الاهتزازات والموجات

$$l \quad \text{بعد مركز النقل عن نقطة التعليق، } m$$

$$s \quad \text{بعد مركز النقل عن نقطة الدوران، } m$$

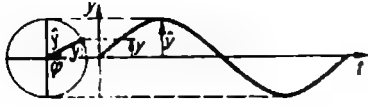
$$T \quad \text{دور الاهتزاز } s, \quad T = \frac{1}{f}$$

$$\hat{y} \quad \text{السعة = عرض الاهتزاز بأكبر سعة.}$$

$$c \quad \text{سرعة الموجة}$$

$$f \quad \text{التردد } \text{Hz} = \text{s}^{-1} \text{ حيث } f = \frac{1}{T}$$

### 1.3 الاهتزازات التوافقية (الحرّة، غير المتخامدة)



y سعة في الزمن t

الشكل 93

$$\varphi = \omega t + \varphi_0$$

زاوية الطور في الزمن t

$\varphi_0$  زاوية الطور الابتدائية في الزمن ( $t = 0$ )

$$y = \hat{y} \sin \varphi$$

السعة في الزمن t

$$v = \hat{y} \omega \cos \varphi$$

سرعة الاهتزاز في الزمن t

$$\hat{v} = \hat{y} \omega$$

أعلى سرعة للجسم المهتز عند بلوغه الموقع الوسطي

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$$

التردد الدائري

$$a = -\hat{y} \omega^2 \sin \varphi = -y \omega^2$$

تسارع الجسم المهتز في الزمن t

$$\hat{a} = -\hat{y} \omega^2$$

التسارع الأعظمي في نقطتي العودة

$$F = -m\hat{y} \omega^2 \sin \varphi = -m y \omega^2$$

القوة المؤثرة على الجسم المهتز في الزمن t

قوة الإرجاع

### 2.3 الاهتزاز المرن

الاهتزازات الخطية

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{D}}$$

دور الاهتزاز بالثانية s

$$D = \frac{F}{\Delta l} = k$$

القيمة الحقيقية = ثابت النابض k بوحدة N/m ، أي

القوة المناسبة لاستطالة  $\Delta l = l m$

$$\omega = 2\pi f = \sqrt{\frac{D}{m}}$$

التردد الدائري بـ  $s^{-1}$

### الاهتزازات الدورانية

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{J}{D^{\circ}}}$$

دور الاهتزاز بالثانية s

$I$  عزم العطالة الكتلي بالنسبة لمحور الدوران  $kg\ m^2$

$$D^{\circ} = \frac{M}{\varphi}$$

القيمة الحقيقية للزاوية مقاسة بوحدة Nm، أي عزم الدوران

$M$  اللازم لدورة زاوية مقدارها (1 rad)

$$\omega = 2\pi f = \sqrt{\frac{D^{\circ}}{J}}$$

التردد الدائري  $s^{-1}$

## 3.3 اهتزاز النواس

### النواس الرياضي

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

يطبق للكتل ذات التمدد الضعيف للخيوط

عديمة الوزن في الإزاحات الزاوية الصغيرة

### النواس الفيزيائي

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{J_A}{mgs}}$$

$J_A$  يجب أن تكون منطوقة على محور النواس

(قاعدة Steiner) يصلح فقط في الإزاحات

الزاوية الصغيرة.

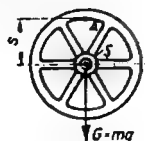
$$J_s = ms \left( \frac{gT^2}{4\pi^2} - s \right)$$

يفيد تجريبياً في تبين العزم العطالي الكتلي لأي

جسم، بالنسبة للمحور المار من مركز الثقل.

' $s$ ' هي القيمة المطلوب قياسها لدور

الاهتزاز لجسم النواس. (شكل 94)



الشكل 94



$$I' = \frac{J_A}{ms}$$

طول النواس المكافئ، حيث أن طول  
النواس الرياضي يساوي دور الاهتزاز

### 4.3 الاهتزاز التوافقي المتخامد

$$y = a e^{-\delta t} \sin \varphi \quad \text{سعة في الزمن } t$$

$$\delta = \frac{\beta}{2m} \quad \text{عامل التخماد}$$

$$\beta = \frac{F_D}{v} \quad \text{ثابت التخماد، و } F_D \text{ قوة التخماد}$$

$$\Lambda = \delta T \quad \text{التناقص اللوغاريتمي}$$

$$e^{\delta T} = \hat{y}_n : \hat{y}_{n+1} \quad \text{نسبة سعتين متجاورتين}$$

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2} \quad \text{التردد الدائري لاهتزاز متخامد}$$

$$\omega_0 \quad \text{التردد الدائري للاهتزاز غير المتخامد}$$

### 5.3 الموجات

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad \text{طول الموجة}$$

$$f \quad \text{تردد موجة التهيج (المؤثرة)}$$

$$y = \hat{y} \sin \omega \left( t - \frac{x}{c} \right) \quad \text{سعة جزئية على بعد } x \text{ من مركز التأثير بعد زمن } t$$

### 4. ميكانيك الموائع (الميكانيك الهيدروليكي)

$$A \quad \text{مساحة المقطع } m^2$$

$$F \quad \text{قوة المكبس } N$$

G	قوة الوزن	N
$G_F$	قوة الوزن عند الغطس التام في المائع ( $G - F_A$ )	
$G'_F$	قوة وزن الجسم الإضافي في المائع	
$G''_F$	قوة وزن الجسم والجسم الإضافي في المائع	
h	ارتفاع عمود المائع	
$\mu$	عامل الجريان	
$\rho$	الكثافة = $m/V$ ، وتقاس بوحدة $kg/m^3$	
v	سرعة التدفق بـ	m/s

## 1.4 الموائع الساكنة

### الضغط

$P = \rho gh$	ضغط الثقالة بوحدة $N/m^2$	$P_a$
$p = \frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$	ضغط المكبس بوحدة $N/m^2$	$P_a$
تناسب قوة المكبس مع مساحة المقطع تناسباً طردياً (مبدأ الضغط الهيدروليكي).		

### الرفع

$F_A = V\rho g$	قوة الرفع بوحدة N	
	V حجم المائع المزاح	
	$\rho$ كثافة المائع	
	$G < F_A$ : الجسم يصعد حتى توازن الطفو	
	$G > F_A$ : الجسم يغطس	
	$G = F$ : الجسم يطفو	

## توازن الطفو

$$\frac{\text{حجم المائع المزاح}}{\text{الحجم الكلي}} = \frac{\text{كثافة الجسم العائم}}{\text{كثافة المائع}}$$

تحديد الكثافة للأجسام الصلبة (بمساعدة الرفع)

$$\rho = \frac{\rho_F G}{G - G_F}$$

تطبيق للأجسام الصلبة ذات الكثافة النوعية الأثقل من المائع

$$\rho = \frac{\rho_F G}{G + G'_F - G''_F}$$

تطبيق للأجسام الصلبة ذات الكثافة النوعية الأخف من المائع ويجب أن تضاف إليها أثقال إضافية

تحديد كثافة الموائع

$$\rho_{F1} = \rho_{F2} \frac{G - G_{F1}}{G - G_{F2}}$$

تحدد الكثافة بواسطة المقارنة مع مائع آخر وجسم صلب لا يطفو على كلا المائعين

## 4.2 الموائع المتحركة (المتدفقة)

المتفرعة

$$v = \mu \sqrt{2gh}$$

$\mu \approx 1.0$  في تفرع ذو أطراف مدورة بشكل جيد

$$\frac{V}{t} = \mu A \sqrt{2gh}$$

$\mu \approx 0.6$  في تفرع ذو أطراف حادة

غير المتفرعة (ذوات المقطع)

$$V = Avt$$

تدفق المائع (بدون احتكاك)

$$v_1 A_1 = v_2 A_2 \quad (\text{معادلة الاستمرار})$$

إن جداء السرعة والمقطع دائماً ثابت

### الضغط في الموائع المتدفقة

$$p + \frac{\rho v^2}{2} = \text{Const}$$

قانون Bernoulli: مجموع الضغط الستاتيكي وضغط التوقف في الأنابيب الشاقولية دائماً ثابت

$p$ : الضغط الستاتيكي مقاس بالواحدة  $\text{N/m}^2$

قابلية الانضغاط

$$\Delta V = -x \Delta p V$$

تغير الحجم عند فرق الضغط  $\Delta p$

$x$  قابلية الانضغاط مقاسة بالواحدة  $\text{m}^2 \text{N}^{-1}$

$V$  حجم المائع

الاحتكاك الداخلي في التدفق الصفحي (شكل 95)

$$F_a = \frac{\eta A v}{a}$$

الاحتكاك الداخلي مقاس بالواحدة  $N$



الشكل 95

$\eta$  اللزوجة الديناميكية مقاسة بالواحدة  $\text{Pa s} = \text{Ns/m}^2$

$A$  المساحة الفاطسة مقاسة بالواحدة  $\text{m}^2$

$a$  بعد الصفيحة - جدار الوعاء مقاس بالواحدة  $m$

$1 \text{ (cP)} = 10^{-3} \text{ Ns m}^{-2}$  (P: بوز)

$$v = \frac{\eta}{\rho}$$

اللزوجة الحركية مقاسة بالواحدة  $\text{m}^2/\text{s}$

$1 \text{ (cSt)} = 1 \text{ mm}^2/\text{s}$  (St: ستوكس)

$$V = \frac{\pi \Delta p r^4}{8 \eta l}$$

حجم المتدفق في الأنبوب،  $\text{m}^3$

(قاعدة Hagen-Poiseuille)

$\Delta p$  فرق الضغط بين كلا الأنبوبين،  $\text{Pa} = \text{N/m}^2$

$l$  طول الأنبوب  $m$

$r$  نصف قطر الأنبوب  $m$

$$F_R = 6 \pi \eta r v$$

(قانون Stokes)

$$v = \frac{2(\rho_K - \rho_M)gr^2}{9\eta}$$

القوة على كرة محاطة بتيار صفحي بوحدة N

r نصف قطر الكرة، m

سرعة غطس كرة صغيرة

$\rho_K$  كثافة الكرة  $\text{kg/m}^3$

$\rho_M$  كثافة الوسط المحيط

مقاومة الجريان في التيار المضطرب

$$F_w = cA \frac{\rho}{2} v^2$$

مقاومة الجريان بوحدة N

c عامل المقاومة، يتعلق بشكل الجسم

$$P = cA \frac{\rho}{2} v^3$$

استطاعة التدفق بالواط W

رقم Reynolds

$$Re = \frac{l\rho v}{\eta} = \frac{lv}{\nu}$$

الأجسام التي لها نفس رقم Reynold لها

أيضاً نفس عامل المقاومة c

l للأجسام المميزة الطول (نصف قطر

كرة، قطر أنبوب، ... الخ).

عند ازدياد v يصبح رقم Recritical

حرجاً، ويقلب الجريان من صفحي إلى

مضطرب.

## 5. علم الحرارة

كمية الحرارة بوحدة I (kcal)	$A_1$ المساحة قبل التسخين
$\rho$ كثافة الغاز $\text{kg/m}^3$	$A_2$ المساحة بعد التسخين
R ثابتة الغاز بوحدة J/kg.K (kpm/kgK)	$\Delta A$ تغير المساحة
T درجة الحرارة المطلقة — K	$\alpha$ عامل التمدد الحراري $\text{K}^{-1}$
$T_0$ درجة حرارة الصفر بالمقياس المثوي	c السعة الحرارية النوعية
$273.15 \text{ K} =$	$\gamma$ عامل التمدد الفراغي $\text{K}^{-1}$
t درجة الحرارة بوحدة القياس $^\circ\text{C}$ $t = T - T_0$	$l_1$ الطول قبل التسخين
$\Delta t$ تغير درجة الحرارة K	$l_2$ الطول بعد التسخين
$V_1$ الحجم قبل التسخين (أو في الحالة m الكتلة بالكغ kg الأولى)	$\Delta l$ تغير الطول
$V_2$ الحجم بعد التسخين (أو في الحالة $p_2$ الثانية)	$p_1$ الضغط في الحالة 1
$\Delta V$ التغير الحجمي	$p_2$ الضغط في الحالة 2
$p = \text{N/m}^2$ (kp/m <sup>2</sup> ) Pa	$p$ ضغط الغاز
(بين قوسين هي وحدات قديمة لم تعد صالحة)	

## 1.5 تمدد الأجسام الصلبة

### الطول

قيم الأعداد من أجل  $\alpha$  انظر الجدول (1) وهي صالحة مع دقة كافية في المجال  $^\circ\text{C}$  (0 .... 100).  
عند التبريد تكون  $\Delta t$  سالبة

$$\Delta l = l_1 \alpha \Delta t$$

$$l_2 = l_1 (1 + \alpha \Delta t)$$

## المساحة

$$\Delta A = A_1 2\alpha \Delta t$$

$$A_2 = A_1 (1 + 2\alpha \Delta t)$$

## الحجم

$$\Delta V = V_1 3\alpha \Delta t$$

$$V_2 = V_1 (1 + 3\alpha \Delta t)$$

إن تمدد الحجم الفراغية يتم حسب

القواعد النظامية المتساوية

## تمدد الأجسام المائعة

$$\Delta V = V_1 \gamma \Delta t$$

$$V_2 = V_1 (1 + \gamma \Delta t)$$

إن قيم الأعداد من أجل  $\gamma$  (انظر الجدول 2)

وهي تصلح مع دقة كافية في المجال  $0 \dots 40^\circ \text{C}$

## تغير الكثافة

$$\rho_2 = \frac{\rho_1}{1 + \gamma \Delta t}$$

تطبق أيضاً للأجسام الصلبة عندما  $\gamma$  تعوض

بالتقسيم على  $3\alpha$  عند التبريد تكون  $\Delta t$  سالبة

## تمدد الأجسام الغازية

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$$

معادلة الحالة للغازات

$$pV = mRT$$

R قيمة ثابت الغازات العام

## حساب كثافة الغاز

$$\rho_2 = \rho_1 \frac{p_2 T_1}{p_1 T_2}$$

الكثافات الموجودة في الجداول هي للحالة النظامية (الدرجة

صفر مئوية والضغط  $101.325 \text{ kPa} = 760 \text{ عمود ماء}$ ).

يتم تحويل الحساب على أية حالة من الحالات.

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{p}{RT}$$

استنتاج حساب كثافة الغاز من الضغط ودرجة الحرارة

المجدول (1) عامل التمدد الطولي  $\alpha$  ( $K^{-1}$ )

$10^{-6}$		$10^{-6}$		$10^{-6}$	
9.0	بلاطين	6.5	إيريديوم	23.8	ألنيوم
80.0	بولي فينول كلوريد	41.0	كادميوم	29.0	رصاص
3.0	بورسلان	15.2	كونستانان	17.5	برونز
0.5	زجاج الكوارتز	16.5	نحاس	10.0	فولاذ كروم
19.5	فضة	26.0	مغنيزيوم	12.2	حديد صب
16.0	فولاذ - V2A	23	مانغان	6... 9	زجاج
4.5	تنفستين	18.4	نحاس أصفر	24.0	إلكترونيات
36.0	توتياء	5.2	موليبدين	9.0	حديد صب مختلط
26.7	قصدير	18.0	فضة حديد	14.2	ذهب
		13.0	نيكل	1.5	فولاذ مقسى

المجدول (2) عامل التمدد الفراغي  $\gamma$  بـ ( $K^{-1}$ ) من أجل درجة حرارة ( $20^\circ C$ )

0.00096	بترول	0.00110	الكحول
0.00018	القصدير	0.00162	الأثير
0.00100	زيت تربنتينول	0.00106	بترين
0.00111	تولول	0.00123	بترول
0.00021	ماء <sup>1</sup>	0.00050	غليسرين

## 2.5 الطاقة الحرارية

$$Q = cm \Delta t$$

إن كمية الحرارة (kcal) لضرورة لتوليد فرق درجات الحرارة  $\Delta t$  في الجسم

$$Q_1 = cmt$$

محتوى الحرارة ل (kcal)، الطاقة الحرارية للجسم بالنسبة لنقطة الصفر  $0^\circ C$

<sup>1</sup> في المجال من  $4^\circ C$  .....  $0^\circ C$  سلوك غير طبيعي.



$$C = cm$$

السعة الحرارية بوحدة J/K (kcal/K) وهي كمية

الحرارة اللازمة لتسخين الجسم 1 K

إن السعة الحرارية المطلوبة لتسخين 1 kg من مادة c هي السعة الحرارية النوعية تحتاج 1 K من كمية الحرارة.

$$(kcal/kg.K) J/kg.K$$

في الغازات نلاحظ  $c_p$  (التسخين عند ضغط

$$c_p - c_v = R$$

ثابت) و  $c_v$  (التسخين تحت حجم ثابت). القيم

في الجدول (3)

نخلط الحرارة

إن الجسم الساخن يعطي كمية حرارة كبيرة جداً،

$$c_1 m_1 (t_1 - t_m) = c_2 m_2 (t_m - t_2)$$

وهي نفس الكمية التي يأخذها الجسم البارد.

قاعدة خلط Richman

الدليل 1: الجسم الساخن

الدليل 2: الجسم البارد (يجب الانتباه إلى تغير الحالة العامة)

المجدول (3) السعة الحرارية النوعية (عند درجة حرارة 20 °C)

المادة	$c / \frac{kcal}{kg K}$	$c / \frac{kJ}{kg K}$	المادة	$c / \frac{kcal}{kg K}$	$c / \frac{kJ}{kg K}$
الألمنيوم	0.214	0.896	النحاس الأصفر	0.091	0.381
الكحول الإيثيلي	0.580	2.43	الفضة الجديدة	0.095	0.40
الرصاص	0.031	0.13	البلاتين	0.032	0.134
حديد الصب	0.108	0.452	زجاج الكوارتز	0.170	0.712
الزجاج	0.18	0.75	الزئبق	0.033	0.138
غليسرين	0.571	2.39	الفضة	0.056	0.234
الحديد الصلب	0.129	0.540	الفولاذ - V2A	0.119	0.498
النحاس	0.092	0.385	الماء	0.999	4.183
بترين خفيف	0.5	2.09	أحجار القمر	0.20	0.84
زيت الآلات	0.4	1.67	توتياء	0.092	0.385

قيم التسخين  $J\ kg^{-1}$  ( $kcal\ kg^{-1}$ )

كمية الحرارة ( $J(kcal)$ ) التي تنطلق عند حرق  $1\ kg$  من المادة، القيم في الجدول (4).

الجدول 4 قيم التسخين

$\frac{kcal}{kg}$	$\frac{MJ}{kg}$	المواد الصلبة	$\frac{kcal}{kg}$	$\frac{MJ}{kg}$	المواد المائعة
$\approx 8000$	$\approx 33.5$	انتراميت	6440	26.9	الكحول الإيثيلي
$\approx 5000$	$\approx 20.9$	لوائح الفحم البني	$\approx 10200$	$\approx 42.7$	بنزين
$\approx 3000$	$\approx 12.6$	خشب، مجفف بالهواء	9600	40.2	بنزول
$\approx 7300$	$\approx 30.6$	فحم خشبي	$\approx 10200$	$\approx 42.7$	زيت مازوت (ديزل)
$\approx 7000$	$\approx 29.3$	فحم الكوك	$\approx 9800$	$\approx 41.0$	زيت تسخين
2750	11.5	فحم بني خام	9900	41.4	بنزوليوم
حتى 4000	حتى 16.7				
$\approx 7000$	$\approx 29.3$	فحم حجري	9800	41.0	زيت خام
2800	11.7	فحم نباتي	5980	25.0	كحول (سبيرتو)
حتى 3900	حتى 16.3				

#### الانصهار - التجمد

يرتبط تغير الحالة الفيزيائية للجسم من الصلب إلى سائل أو العكس من سائل إلى صلب بالحجم والخواص الفيزيائية حرارة الانصهار النوعية (حرارة التجمد النوعية) بـ  $J/kg$  ( $kcal/kg$ )، هي كمية الحرارة المكتسبة (المطروحة) عندما ينصهر أو يتجمد  $1\ kg$  من المادة دون تغير في درجة حرارتها، انظر الجدول (5)

درجة حرارة الانصهار (حرارة التجمد): هي درجة الحرارة المتعلقة بالضغط التي يتم عندها تغير الحالة، عندما يكون الضغط الخارجي  $101.325\ kPa = (760\ Torr)$ ، فتصل إلى نقطة الانصهار.

## الغليان - التكثيف

يرتبط تغير الحالة الفيزيائية من سائل ← غاز أو من غاز ← سائل بتغير الحجم والخواص الفيزيائية

حرارة التبخر النوعية (حرارة التكثيف النوعية) بـ  $\text{J/kg}$  ( $\text{kcal/kg}$ ): هي كمية الحرارة المكتسبة (المفقودة) عندما يتبخر (يتكاثف) 1 كغ من المادة دون تغيير في درجة الحرارة انظر الجدول (5)

درجة حرارة الغليان (درجة حرارة التكثيف): هي درجة الحرارة المتعلقة بالضغط بشكل كبير والتي يتم عندها تغير الحالة، عندما يكون الضغط الخارجي 101.325 kPa (= 76070 Torr)، ثم تغلي.

التبخير (التطاير): عملة تبخير تحدث تحت نقطة الغليان.

## التصعيد

تغير الحالة الفيزيائية للمادة من الحالة الصلبة إلى الحالة الغازية وبالعكس.

الجدول 5

نقطة الغليان وحرارة التبخر النوعية			نقطة الانصهار وحرارة الانصهار النوعية			
$\frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{MJ}}{\text{kg}}$	$^{\circ}\text{C}$	$\frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$	$^{\circ}\text{C}$	
201	0.842	78.4	25.8	108.0	-114.2	الكحول الإيثيلي
2800	11.72	2500	94.6	396	659	الألمنيوم
326.8	1.37	-33.4	5.9	24.7	327.3	الرصاص
124	0.519	56.2	64.6	270	1535	الحديد، الصافي
94	0.394	80	-	-	1500	الفولاذ المقسى

نقطة الانصهار وحرارة الانصهار النوعية				نقطة الغليان وحرارة التبخير النوعية			
الذهب	1063	65.7	15.7	حديد، الصافي (فريون 13)	2880	6.36	1520
حديد صب الرمادي	1200	-	-	(CF <sub>3</sub> Cl)	-81.5	0.148	35.3
النحاس	1083	205	48.9	غليسرين	290	-	-
النحاس الأصفر	920	-	-	هليوم	-268.9	0.0251	6
البرافين	54	-	-	بلاطين	3800	2.51	600
البلاطين	1773	113	27	زئبق	357	0.301	72
زئبق	-38.8	11.3	2.7	أكسجين	-183.0	0.213	50.9
الفضة	960.5	105	25.1	أكسيد الكبريت	-10	0.390	93.1
الماء	0.0	334	79.7	نتروجين، أزوت	-195.8	0.199	47.6
الترتباء	419.5	109	26	الماء	100	2.26	538.9
القصدير	232	58.6	14	مواد مائية	-252.8	0.0486	11.6
تنغستن	3380	193	46	القصدير	2400	2.6	620

المجدول (6) الكثافات بـ  $kg/dm^3$  (عند درجة حرارة 20 °C)

الألمنيوم	2.7	زجاج النوافذ	2.5
الكحول الإيثيلي	0.789	خشب الشربين، مجفف بالهواء	0.47
الأسيتون	0.791	غليسرين	1.261
بترين	0.72	ذهب	19.29
بترول	0.879	غرانيت	2.8
رصاص	11.34	الصب الرمادي	7.2
زيت ديزل	0.85	فولاذ	8.1
دور النيويم	2.8	الفحم الكوك	0.9

0.2 ..... 0.35	الفلين	0.86	حشب البلوط، محفف بالهواء
8.92	النحاس	0.917	جليد (0 °C)
1.74	مغزيوم	7.8	حديد
8.5	نحاس أصفر	1.8	المعادن الإلكترونية
0.81	بتروليوم	1.03	الحليب
8.8	فولاذ الصب الأحمر	21.5	بلاطين
2.4	صخر رملي	13.55	الزئبق
1.02	ماء البحيرات	1.834	حموض كبريتية
4.52	تينان	1.4	فحم حجري
7.14	قصدير	19.3	تنجستن

## 6. علم الصوتيات

$\omega$ التردد الدائري = $2\pi f$ مقاس بالواحدة $s^{-1}$	$\hat{y}$ السعة مقاسة بالواحدة $m$
$p$ ضغط الصوت مقاس بالواحدة $Pa = 10 \mu bar$	$f$ التردد مقاس بالواحدة $Hz = s^{-1}$
$v$ سرعة الصوت مقاس بالواحدة $m/s$	$I$ شدة الصوت مقاسة بالواحدة $W/m^2$

## 1.6 سرعة الصوت $c$

في الأجسام الصلبة  $m/sec$

$$E \text{ مودول المرونة (المطيلية) } N/m^2 \text{ (عامل يونغ)}$$

$$\rho \text{ الكثافة تتعلق بدرجة الحرارة } kg/m^3$$

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

في الأجسام المائعة m/s

$$c = \sqrt{\frac{1}{\kappa \rho}}$$

$\kappa$  قابلية الانضغاط  $m^2/N$

$\rho$  تتعلق بدرجة الحرارة  $kg/m^3$

المجدول (7) سرعة الصوت  $c$  مقاسة بالوحدة m/s (عند درجة حرارة  $20^\circ C$ )

رصاص	1300	الفلين	500
زجاج	5500	الهواء ( $0^\circ C$ )	331,8
مطاط	54	الملاط (جدار)	3500
غرانيت	4000	الفولاذ	5000
خشب	4000	الماء	1485
أكسيد الفحم	258	مواد مائية ( $0^\circ C$ )	1286

في الغازات m/s

$$c = \sqrt{\kappa RT}$$

$R$  ثابت الغازات العام  $J/kg K$

$$\kappa = c_p/c_v \text{ للغاز}$$

$T$  درجة الحرارة المطلقة  $K$

في الهواء m/s

$$c = (331.6 + 0.6 t/^\circ C) \text{ m/s}$$

$t$  درجة الحرارة  $^\circ C$

## 2.6 اثر Doppler

$$f_E = f_s \frac{c - v_E}{c - v_S}$$

يطبق لمستقبل متحرك ومرسل متحرك.

$f_E$  تردد المستقبل

$v_S$  و  $v_E$  هما موجبتان للتعويض، عندما

$f_s$  تردد المرسل

يكون لها نفس اتجاه السرعة  $c$ ، وغير

$c$  سرعة الصوت

ذلك فسالb.

عندما يكون المستقبل ساكن فإن  $v_E=0$  ،  
أو المرسل ساكن فإن  $v_S=0$  .  
سرعة المستقبل  $v_E$   
سرعة المرسل  $v_S$

### 3.6 قيم الحقل الصوتي

سرعة الصوت

السرعة اللحظية للجزيئ المهتز m/s  
 $v = y\omega = 2\pi f y$

القيمة العظمى (سعة السرعة)  
 $\hat{v} = \hat{y}\omega = 2\pi f \hat{y}$

ضغط الصوت

انحراف الضغط اللحظي ضمن موجة الصوت  
 $p = \rho c v \quad \text{N/m}^2 = \text{Pa}$

القيمة العظمى (سعة الضغط)  
 $\hat{p} = \rho c \hat{v}$

$\rho$  كثافة الوسط  $\text{kg/m}^3$ ، تتعلق بالضغط ودرجة الحرارة  
 $c$  سرعة الصوت m/s

شدة الصوت

شدة الصوت في موقع معين من حقل  
 $J = \frac{\rho}{2} \hat{v}^2 C \quad \text{W/m}^2$

الصوت، تعطينا استطاعة الصوت  
الناجمة لكل  $\text{m}^2$   
 $= \frac{\hat{p}^2}{2\rho c}$

$\text{kg/m}^3$  الكثافة  $\rho$   
 $= \frac{\hat{p}\hat{v}}{2} = \tilde{p}\tilde{v}$   
 $c$  سرعة الصوت m/s

مستوى الصوت النسبي

الواحدة (dB)  
 $L = 20 \lg \frac{p_1}{p_2} = 10 \lg \frac{J_1}{J_2}$

$1 \text{ dB} = 0.115 \text{ Neper (Np)}$

### مستوى الصوت المطلق

$$L = 20 \lg \frac{\hat{p}}{\sqrt{2\tilde{p}_0}} = 10 \lg \frac{J}{J_0} \text{ dB}$$

$$\tilde{p}_0 = 2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$$

$$J_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$$

### شدة الضجيج

$$L = 20 \lg \frac{\hat{p}}{\sqrt{2\tilde{p}_0}} = 10 \lg \frac{J}{J_0}$$

$\hat{p}$  ضغط صوت الطنين متساوي

الحساسية 1000-Hz-Tones

(فون)

### تخامد الصوت

$$D = 10 \lg \frac{J_1}{J_2} \text{ dB}$$

يفهم من هذا التعبير تضعيف الصوت

عند اختراقه جدار ما

$J_1$  شدة الصوت قبل الجدار

D التخامد

$J_2$  شدة الصوت بعد الجدار

### الجدول (8) قيم التخامد لمواد البناء

قيم التخامد مقاسة بالواحدة dB	السماكة مقاسة بالواحدة cm	
		حجر آجري، مطلي بخرقة
42	9	1/4 حجر
44	15	1/2 حجر
50	27	1/1 حجر
35	2.5	صفائح قطعية خشبية
19	0.5	خشب مانع مدهون بمادة لكر
29	0.7	زجاج
15 ... 20		باب بسيط



قيم التخامد مقاسة بالواحدة dB	السماكة مقاسة بالواحدة cm	
30 ... 40		باب مزدوج
15 ... 25		نافذة مفردة
25 ... 35		نافذة مزدوجة
48	16	جدار بيتوني

## 7. البصريات

f بعد المحرق	a البعد الحقيقي
f <sub>1</sub> بعد محرق الجسم	b بعد الصورة
f <sub>2</sub> بعد محرق العدسة	B طول الصورة
G الطول الحقيقي	c سرعة الضوء
n رقم الانكسار	M مركز التحدب عند الانعكاس:
r نصف قطر الانحناء لسطح كرة	في العدسات هو نقطة نهاية المسافة
	2f (مقاسة من العدسة)

## 1.7 المرايا والعدسات

### قانون الانعكاس

$$\alpha = \beta$$

تقاس الزوايا بين الشعاع والشاقول

### قانون الانكسار

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{c_0}{c} = n$$

$c_0 = 299793 \text{ km/s}$ ، سرعة الضوء في الفراغ

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{c_1}{c_2} = \frac{n_2}{n_1} = n_{12}$$

c سرعة الضوء في الوسط

n رقم الانكسار

الدليل 1: للوسط الأول

الدليل 2: للوسط الثاني

الزاوية المحدبة للانعكاس الكلي

$$\sin \alpha = \frac{1}{n}; \quad n = \frac{\text{رقعة}}{\text{مخيفة}}$$

الانعكاس الكلي عند الانتقال من  
الأوساط الكثيفة للأوساط الرقيقة

قانون التشكيل

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b}; \quad \frac{G}{B} = \frac{a}{b}$$

يطبق لجميع حالات المرايا الكروية  
والعدسات

$$f = \frac{r}{2}$$

يطبق في المرايا الكروية

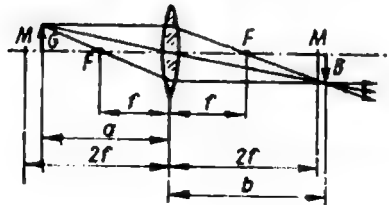
$$\frac{1}{f} = (n-1) \left( \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)$$

يطبق للعدسات الكروية الرقيقة  
 $r_1$  نصف قطر العدسة المحدبة القوية  
 $r_2$  نصف قطر العدسة المحدبة الضعيفة

انتباه: في العدسات المقعرة والمرايا المحدبة تكون  $f$  سالبة

تكوين الصور

خلال العدسات المقعرة أو المرايا المحدبة (شكل 96)



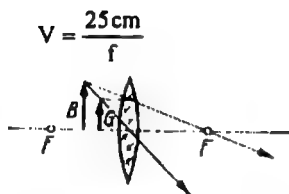
الشكل 96

النوع	الصورة	الموقع	حالة الموقع
معكوسة حقيقية	مصغرة	بين F و M	قبل M
معكوسة حقيقية	نفس القيمة	في M	في M
معكوسة حقيقية	مكبرة	خلف M	بين F و M
—	كبيرة لا نهائية	في اللانهاية	في F
خيالي	مكبرة	قبل العدسة خلف المرآة	ضمن f

في الحالة 5 تكون b سالبة

## 2.7 الأجهزة البصرية

العدسات المكبرة (شكل 97)



الشكل 97

V التكبير الخطي

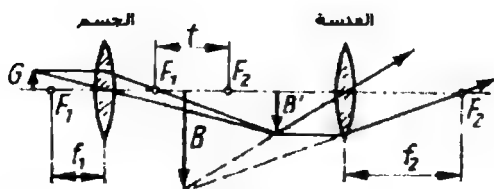
f بعد المحرق cm

المجهر (الشكل 98)

$$V = V_{\text{للعدسة}} \cdot V_{\text{للجسم}} = \frac{25 \text{ cm} \cdot f}{f_1 f_2}$$

V التكبير الخطي

f<sub>1</sub>, f<sub>2</sub>, t مقاسة بالواحدة cm

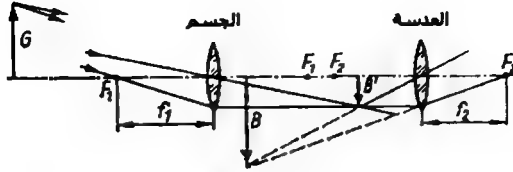


الشكل 98

المنظار (شكل 99)

$V$  التكبير الخطي

$$V = \frac{f_1}{f_2}$$



الشكل 99

التصوير الفوتوغرافي

$$\frac{\text{قطر العدسة المؤثرة } d}{\text{البعد المحرقى } f} = \frac{1}{x}$$

### 3.7 هندسة الإضاءة

$$I = \frac{\Phi}{\omega}$$

شدة الضوء  $I$  مقاسة بالواحدة Candela (cd)

$\Phi$  تدفق الضوء مقاسة بالواحدة Lumen (lm)

$$\omega = \frac{\text{مساحة الكرة}}{2 (\text{نصف قطر الكرة})^2}$$

$\omega$  زاوية الفراغ مقاس بالواحدة (sr)

Steradian

$E$  شدة الإضاءة Lux

$$E = \frac{\Phi}{A} = \frac{I \cos \epsilon}{r^2}$$

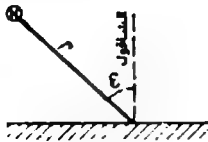
$\Phi$  تدفق الضوء الظاهر (Lumen) lm

$A$  المساحة المضاءة  $m^2$

$I$  شدة الضوء للمصباح مقاسة بالواحدة cd

$r$  بعد منبع الضوء مقاس بالواحدة m

$\epsilon$  الزاوية بين الأشعة والشاقول



الشكل 100

كثافة الإضاءة  $L$  مقاسة بالوحدة  $cd/m^2$

$$L = \frac{1}{A}$$

$I$  شدة الضوء مقاسة بالوحدة  $cd$   
 $A$  المساحة المضاءة  $m^2$

الجدول (9) تدفق الضوء الكلي من المصابيح — (lm)

المصابيح العادية 220 V			مصابيح النيون، بيضاء		
25 W		205	31 W	عمود 20 W	910
40 W	(لفة مضاعفة) D	400	33 W	عمود 25 W	1440
60 W	(لفة مضاعفة) D	685	52 W	عمود 40 W	2400
75 W	(لفة مضاعفة) D	910	79 W	عمود 65 W	3840
100 W		1350	144 W	عمود 120 W	5400
150 W		1980	33 W	على شكل U - 25 WU	1180
200 W		2740	52 W	على شكل U - 40 WU	1990

الجدول (10) أطوال موجات الضوء

495 ..... 570 nm أخضر	حتى 390 nm تحت البنفسجية
570 ..... 590 nm أصفر	390 ..... 435 nm بنفسجية
590 ..... 630 nm برتقالي	435 ..... 495 nm أزرق
790 ..... تحت الحمراء	630 ..... 790 nm أحمر

## 8. الفيزياء الذرية

$M$  الكتلة الذرية النسبية (قيمة الكتلة)

$A$  النشاط الإشعاعي  $s^{-1}$

$c_0$  سرعة الضوء في الفراغ  $\approx 3 \times 10^8$  m/s  $\nu$  التردد  $s^{-1}$  Hz

$\lambda$  ثابت التفكك  $s^{-1}$

$T_{1/2}$  نصف القيمة الزمنية

$W$  الطاقة  $J$

## 1.8 الجزيئات الأولية الهامة

Electron: هو جزيء ذو شحنة سالبة في مدار الذرة. الشحنة:  $-e = -1.602 \times 10^{-19} C$

كتلة السكون  $m_e = 9.11 \times 10^{-31} kg$

Proton: جزيء ذو شحنة موجبة في نواة الذرة. الشحنة:  $+e$ ؛ الكتلة الساكنة  $m_p = 1836 m_e$ ،  
الرمز:  $p$ .

Neutron: جزيء حيادي كهربائي في نواة الذرة. كتلة السكون:  $m_n = 1839 m_e$ ، الرمز  $n$ .  
Nukleon: هو تعبير مشترك للبروتون والنيوترون.

Positrino: إلكترونات موجبة، الشحنة:  $+e$ ؛ كتلة السكون  $m_e$ .

Antineutrino ، Neutrino: جزيئات بدون كتلة ساكنة وشحنة، تنشأ عند تفكك أشعة  $\beta$

Mesonen: جزيئات ثقيلة ذات أنواع مختلفة في الإشعاعات العالية الثانوية. الشحنة  
 $+e, -e$  وأيضاً 0، الكتلة:  $m = 1500 \dots 200$ ، مدى العمر الوسطي:  
 $10^{-23} \dots 10^{-6} s$ .

## 2.8 بنية النواة

تتألف كل ذرة من نواة (بروتونات ونيوترونات) ومدارات (إلكترونات)

والترتيب  $Z =$  عدد البروتونات (أيضاً عدد شحنات النواة)

رقم الكتلة  $A =$  عدد النيوكليونات، أي بروتونات + نيوترونات.

$^{127}_{53}\text{I}$  هذا يعني: عنصر اليود، رقم الترتيب 53، رقم الكتلة 127، أي 53 بروتونات، (127-53) نيوترونات.

### 1.2.8 مقادير وكتلة الذرة

$$r_e \approx 1.4 \times 10^{-15} \text{ m}$$

$r_e$  نصف قطر الإلكترون

$$r_K \approx r_e \sqrt[3]{M}$$

$r_K$  نصف قطر النواة

$$N_A = \frac{6.022 \times 10^{26}}{\text{kmol}}$$

$N_A$  ثابت Avogadro، يعطي عدد الذرات لكل kmol

$$m_a = M \cdot 1.66 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

$m_a$  كتلة الذرة في kg

$$N = \frac{m}{M \cdot 1.66 \text{ kg}} 10^{27}$$

$N$  عدد الذرات في الكتلة  $m$

### المجدول (II)، نظرة عامة

M	A	تتكون من			الرمز	الاسم
		إلكترونات	نيوترونات	بروتونات		
0.000549	0	1	0	0	e	إلكترون
1.008665	1	0	1	0	n	نيوترون
1.007276	1	0	0	1	p	بروتون
1.007825	1	1	0	1	H	ذرات الهيدروجين
2.01354	2	0	1	1	d	دويوترون
4.001488	4	0	2	2	$\alpha$	جزيئات $\alpha$

### 2.2.8 الكتلة والطاقة

#### الكتلة - الطاقة - العلاقة

$$W = mc_0^2$$

علاقة Einstein للربط بين الكتلة مقاسة بوحدة kg

والطاقة مقاسة بوحدة J

$$W_B = \Delta mc_0^2$$

$W_B$  طاقة ربط النواة

$$1 \text{ kg} = 8.988 \times 10^{16} \text{ J}$$

$\Delta m$  فرق الكتلة

#### الإشعاع

$$W = hv$$

الطاقة الكمية للإشعاع

$$h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ Js}$$

ثابت Planck

$$m = \frac{hv}{c_0^2}$$

الكتلة الكمية للإشعاع، تسمى Photon، وليس لها أي كتلة ساكنة

#### الكتلة المتحركة

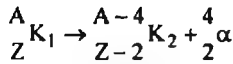
$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}}$$

$v$ : سرعة الجسم

تزداد الطاقة مع السرعة وأيضاً كتلة الجسم. في حال كون السرعة تساوي الصفر، عندها تكون الكتلة ساكنة  $m_0$  تزداد بقيمة الطاقة الإضافية التابعة لقيمة الكتلة لتصل للكتلة الكلية  $m$ .

### 3.8 النشاط الإشعاعي

#### أشعة $\alpha$



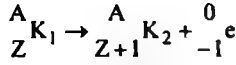
( $\alpha$  - تفكك النواة  $K_1$ )

تتكون أشعة  $\alpha$  من جزيئات  $\alpha$  (نواة الهليوم) وقابلة للتأرجح في الحقول الكهربائية والمغناطيسية. تبلغ السرعة الابتدائية حوالي  $10^7 \text{ m/s}$ .

تأثير أيوني بشكل قوي



### أشعة - $\beta$



( $\beta$  - تفكك النواة  $K_1$ )

تتكون أشعة  $\beta$  من إلكترونات ذات سرعة ابتدائية كبيرة جداً ولكن ليست موحدة. يتم تأرجحها في الحقول الكهربائية والمغناطيسية بشكل معاكس لجزئيات  $\alpha$ .

### أشعة $\gamma$

تنشأ كظاهرة ناجمة عن تفككات كثيرة من  $\alpha$  و  $\beta$ .

كمية الإشعاع ذات طول موجة قصيرة جداً ( $10^{-13} \dots 10^{-15} \text{ m}$ ) وقدرة نفوذية عالية

### قانون التفكك

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

$N_0$  رقم تفكك النواة الموجودة سابقاً

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0.693}{\lambda}$$

$N$  رقم تفكك النواة الموجودة لاحقاً  
 $\lambda$  ثابت التفكك  $s^{-1}$

### الفاعلية (النشاط)

$$A = \lambda N = \frac{0.693N}{T_{1/2}} \quad Bq = s^{-1}$$

$N$  رقم تفكك النواة

$$3.7 \times 10^{10} Bq = 1 \text{ Ci (كوري)}$$

$T_{1/2}$  زمن القيمة النصفية  $S$

### امتصاص أشعة $\gamma$

$$I = I_0 e^{-\mu d}$$

$I_0$  الشدة أمام المتص

$$d_{1/2} = \frac{\ln 2}{\mu} = \frac{0.693}{\mu}$$

$I$  الشدة خلف المتص

$d$  سماكة المتص بوحدة cm

$\mu$  عامل التصفيف الخطي  $cm^{-1}$ ، يتعلق بطاقة الإشعاع والمتص.

$d_{1/2}$  سماكة القيمة النصفية cm

## امتصاص أشعة $\beta$

$$I = I_0 e^{-\mu' x} \quad \text{f كثافة المساحة } dp \text{ بوحدة } g/cm^2$$

$$\mu' = \frac{22}{W_m^{1.333}} \quad (\text{من أجل } W_m > 0.5 \text{ MeV}) \quad \mu' \text{ عامل التصفيف الكتلي مقاسة بالوحدة } cm^2/g. \text{ تتعلق بالطاقة الأعظمية } W_m \text{ للإلكترونات}$$

$$f_{1/2} = \frac{\ln 2}{\mu'} = \frac{0.693}{\mu'} \quad \text{سماكة القيمة النصفية}$$

$$f_m = 0.407 W_m^{1.38} \quad \text{العرض الأعظمي } 0.8 \text{ MeV} >$$

$$f_m = 0.542 W_m - 0.133 \quad \text{عندما } 0.8 \text{ MeV} < W_m$$

## الجدول (12) الثوابت الفيزيائية (مختارات)

$g_m = 9.80665 \text{ m/s}^2$	تسارع السقوط الطبيعي
$\gamma = 6.672 \times 10^{-11} \text{ m}^3/\text{kg.s}^2$	ثابت الجاذبية
$R = 8314.4 \text{ J/kmol.K}$ $= 848 \text{ kpm/kmol.k}$	ثابت الغازات العام
$N_A = 6.02205 \times 10^{26} \text{ l/kmol}$	ثابت Avogadro
$N_L = 2.6868 \times 10^{23} \text{ m}^{-3}$	ثابت Loschmidt
$k = 1.38066 \times 10^{-23} \text{ J/K}$	ثابت Boltzman
$\sigma = 5.6703 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2.\text{K}^4$ $= 4.8703 \times 10^{-8} \text{ kcal/h.m}^2.\text{K}^4$	ثابت الإشعاع
$c_0 = 299792.5 \times 10^3 \text{ m/s}$	سرعة الضوء (في الفراغ)
$e_0 = 8.85419 \times 10^{-12} \text{ F/m}$	ثابت الحقل الكهربائي
$\mu_0 = 1.256637 \times 10^{-6} \text{ H/m}$	ثابت الحقل المغناطيسي
$F = 9.6485 \times 10^7 \text{ C/kmol}$	ثابت Faraday
$e = 1.60219 \cdot 10^{-19} \text{ C}$	شحنة العناصر الكهربائية
$m_e = 9.1095 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$	كتلة الإلكترون
$h = 6.6262 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$	ثابت Plank



# الميكانيك الهندسي

## 1. توازن الأجسام الصلبة

### 1.1 القوى في نظام مركزي مستوي

في نظام قوى مركزي تتقاطع خطوط تأثير القوى في نقطة ما.

#### 1.1.1 التأثير المشترك لقوتين (محصلة قوتين)

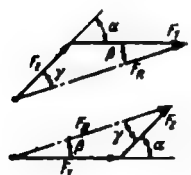
الحل التخطيطي بطريقة

(a) مضلع القوى

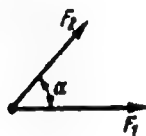


الشكل 102

(b) مثلث القوى



الشكل 103



الشكل 101

المعطيات:  $F_1$ ،  $F_2$ ،  $\alpha$

المطلوب:  $F_R$ ،  $\beta$ ،  $\gamma$

الحل الحسابي

$$F_R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2 \cos \alpha}$$

$$\sin \beta = \frac{F_2}{F_R} \sin \alpha$$

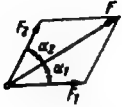
$$\sin \gamma = \frac{F_1}{F_R} \sin \alpha$$

من أجل  $\alpha = 90^\circ$

$$F_R = \sqrt{F_1^2 + F_1^2}$$

$$\tan \beta = \frac{F_2}{F_1}; \quad \tan \gamma = \frac{F_1}{F_2}$$

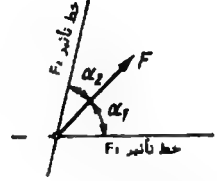
تحليل قوة إلى مركبتين



الشكل 105

المعطيات:  $F, \alpha_1, \alpha_2$

المطلوب:  $F_1, F_2$



الشكل 104

الحل الحسابي

$$F_1 = F \frac{\sin \alpha_2}{\sin(\alpha_1 + \alpha_2)}$$

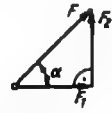
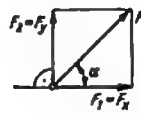
$$F_2 = F \frac{\sin \alpha_1}{\sin(\alpha_1 + \alpha_2)}$$

$$\alpha_1 + \alpha_2 = 90^\circ:$$

$$F_1 = F_x = F \cos \alpha$$

$$F_2 = F_y = F \sin \alpha$$

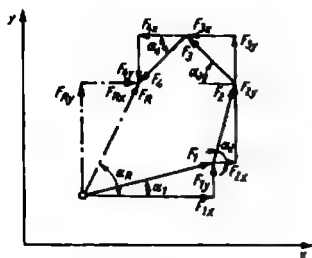
أهم حالات تحليل القوى من أجل:



الشكل 106

### 2.1.1 محصلة عدة قوى

الحل التخطيطي مع مثلث القوى



الشكل 108

$$F_{Rx} = \sum F \cos \alpha$$

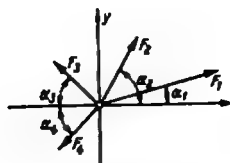
$$F_{Ry} = \sum F \sin \alpha$$

$$F_R = \sqrt{F_{Rx}^2 + F_{Ry}^2}$$

$$\tan \alpha_R = \frac{F_{Ry}}{F_{Rx}} = \frac{\sum F \sin \alpha}{\sum F \cos \alpha}$$

$$F_{Rx} = F_{1x} + F_{2x} + F_{3x} + F_{4x}$$

$$F_{Ry} = F_{1y} + F_{2y} + F_{3y} + F_{4y}$$



الشكل 107

المعطيات:  $F_1$  حتى  $F_4$ ،  $\alpha_1$  حتى  $\alpha_4$

المطلوب:  $F_R$ ،  $\alpha_R$

تحديد موقع  $\alpha_R$  كتابع لإشارة  $F_{Rx}$ ،  $F_{Ry}$

$F_{Ry}$	+	+	-	-	
$F_{Rx}$	+	-	-	+	
$\alpha_R$ im	I.	II.	III.	IV.	الأربعاء

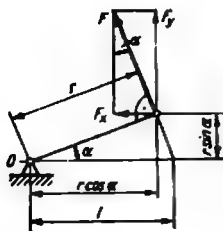
## 2.1 تركيب قوى في نظام قوى مستوية عام

في نظام قوى عام لا تتقاطع خطوط التأثير في نقطة.

### 1.2.1 عزم قوة بالنسبة لنقطة O

إن العزم هو متجه حر.

إن القوة هي متجه.



الشكل 109

$$M = Fr = F l \cos \alpha$$

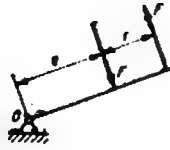
$$M = F_y r \cos \alpha + F_x r \sin \alpha$$

$$F_y = F \cos \alpha$$

$$F_x = F \sin \alpha$$

### 2.2.1 عزم عدة قوى

تسمى قوتين لهما نفس القيمة ومتوازيتين مع اتجاه متعاكس بمزدوجة القوى (انظر الشكل 110)



$$M_R = F(a + r) - Fa$$

$$M_R = Fr$$

الشكل 110

ليس للبعد  $a$  أي تأثير على قيمة عزم مزدوجة القوى هذا يعني أن قيمة مزدوجة القوى لا تتعلق بموقع النقطة المرجعية  $O$ .

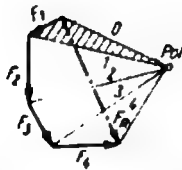
يمكن أن يتم انزلاق عشوائي لزوج القوى في مستوي بدون أن يتغير تأثيرها.

$$M_R = \sum Fr = F_1r_1 + F_2r_2 + \dots$$

عزم عدة قوى

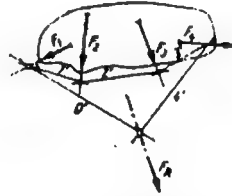
### 3.2.1 محصلة قوى عشوائية في المستوي

الحل التخطيطي مع مخطط القوى والمضلع الجبلي



الشكل 112

مخطط القوى مع مثلث الأقطاب



الشكل 111

مخطط المثلث مع المضلع الجبلي

نحصل على قيمة واتجاه المحصلة من مخطط القوى. موقع المحصلة في نقطة التقاطع الأولى (1) بالأخيرة (4) للشعاع الجبلي. إن الموازيات لثلاثة خطوط (قوة وشعاعي

أقطاب) والتي تكون ممثلة في زاوية القطب، تتقاطع في الموضع الجسبي في نقطة واحدة.

### الحل الحسابي

$$F_{Rx} = \sum F \cos \alpha$$

$$F_{Ry} = \sum F \sin \alpha$$

$$F_R = \sqrt{F_{Rx}^2 + F_{Ry}^2} \quad \text{قيمة المحصلة}$$

$$\tan \alpha_R = \frac{F_{Ry}}{F_{Rx}} = \frac{\sum F \sin \alpha}{\sum F \cos \alpha} \quad \text{اتجاه المحصلة}$$

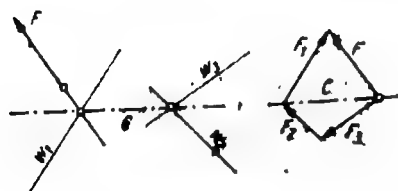
$$r_R = \frac{M_R}{F_R} = \frac{1}{F_R} \sum Fr \quad \text{موقع المحصلة}$$

$$M_R = F_R r_R = \sum Fr \quad \text{عزم محصلة القوى أو بتعبير آخر}$$

$$M_R = F_1 r_1 + F_2 r_2 + \dots \quad \text{المحصلة بالنسبة لأي نقطة مرجعة.}$$

### 4.2.1 تحليل قوة وفق ثلاث اتجاهات معطاة مسبقاً.

المسألة واضحة تماماً وقابلة للحل، عندما لا تتقاطع خطوط التأثير في نقطة واحدة أو أكثر، عندها يكون خطي تأثير قوتين متوازيين.



الشكل 113

مثال:

المعطيات:  $w_1, w_2, w_3, F$

المطلوب:  $F_1, F_2, F_3$

C مستقيم كولمان المساعد

$w_1, w_2, w_3$  خطوط تأثير القوى

المطلوبة



إن المستقيم C المار من نقاط التقاطع لكل من خطي تأثير القوتين يمثل مستقيم كولمان المساعد.

إن القوة المعطاة F تتحلل إلى  $F_1$  وقوة مساعدة C في اتجاه C. وبعدها تتحلل C إلى  $F_2$  و  $F_3$ ، عند تغيير إشارة المركبات الثلاث المتحللة تشكل القوى مع القوة المعطاة حالة توازن.

$$F_R \cos \alpha = \sum F \cos \alpha$$

يُرمز لـ F بـ  $F_R$

$$F_R \sin \alpha = \sum F \sin \alpha$$

ونحل المسألة بالمعادلة المذكورة جانباً

$$F_R F_R = \sum F r$$

### 3.1 توازن القوى

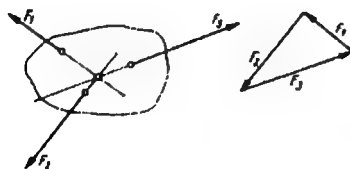
#### 1.3.1 توازن القوى المستوية

في حالات خاصة نطبق:



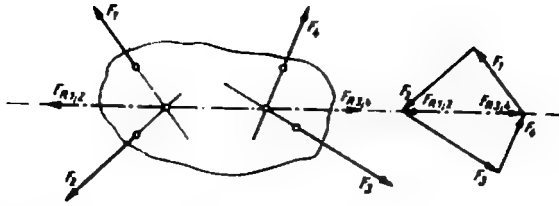
الشكل 114

تكون القوتان في حالة توازن فقط، عندما تقع خطوط تأثيرها على خط واحد وتكون متعاكسة بالاتجاه ومتساوية بالقيمة



الشكل 115

تكون ثلاث قوى في حالة توازن فقط، عندما تتقاطع خطوط تأثيرها في نقطة واحدة، ويكون مثلث القوى مغلقاً.



الشكل 116

تكون أربعة قوى في حالة توازن فقط، عندما تقع محصلة كل قوتين منها متعاكسة بالاتجاه على خط تأثير واحد.

يكون خط التأثير المشترك لكلا المحصلتين هو خط كولمان المساعد.

نطبق بشكل عام

نظام القوى	حسابياً	تخطيطياً
مركزي، مستوي (انظر صفحة 148)	$\left. \begin{array}{l} 1. \sum F_x = 0 \\ 2. \sum F_y = 0 \end{array} \right\} F_R = 0$	مثلث قوى مغلق $F_R = 0$
عام، مستوي (انظر صفحة 150)	$\left. \begin{array}{l} 1. \sum F_x = 0 \\ 2. \sum F_y = 0 \end{array} \right\} F_R = 0$ $3. \sum M = M_R = 0$	مثلث قوى مغلق $F_R = 0$ مثلث جبلي مغلق $M_R = 0$

### 3.2.1 توازن القوى الفراغية

نظام القوى	حسابياً	تخطيطياً
مركزي، فراغي	$\left. \begin{array}{l} 1. \sum F_x = 0 \\ 2. \sum F_y = 0 \\ 3. \sum F_z = 0 \end{array} \right\} \bar{F}_R = 0$	مثلث قوى مغلقاً، فراغياً ( $\bar{F}_R = 0$ )

نظام القوى	حسابياً	تخطيطياً
عام، فراغي	$1. \sum F_x = 0$ $2. \sum F_y = 0 \quad \bar{F}_R = 0$ $3. \sum F_z = 0$ $4. \sum M_x = \sum (F_{xy} - F_{yz}) = 0$ $5. \sum M_y = \sum (F_{xz} - F_{zx}) = 0$ $6. \sum M_z = \sum (F_{yx} - F_{xy}) = 0$ <p>إحداثيات نقاط تلاقي القوى x, y, z</p>	

#### 4.1 تحديد مركز الثقل

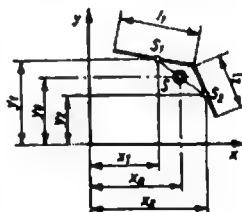
##### 1.4.1 مركز الثقل لخط متجانس

مركز ثقل خط متعرج منكسر (انظر الشكل 117)

$$x_0 = \frac{\sum (lx)}{\sum l}; \quad y_0 = \frac{\sum (ly)}{\sum l}$$

$$x_0 = \frac{l_1 x_1 + l_2 x_2 + l_3 x_3 + \dots}{l_1 + l_2 + l_3 + \dots}$$

$$y_0 = \frac{l_1 y_1 + l_2 y_2 + l_3 y_3 + \dots}{l_1 + l_2 + l_3 + \dots}$$



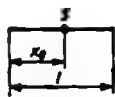
الشكل 117

في القطع المستقيمة يقع مركز الثقل في منتصف المسافة (الشكل 118)

$$x_0 = \frac{l}{2}$$

$$y_0 = \frac{r \sin \alpha}{\alpha} = \frac{rs}{b}$$

قطعة من قوس دائرة  $\alpha$  (rad) (الشكل 119)



الشكل 118

$$y_0 = \frac{2r}{\pi} \approx 0.637r$$

قوس نصف الدائرة  $\left(\alpha = \frac{\pi}{2}\right)$  (الشكل 119)

$$y_0 = \frac{2r\sqrt{2}}{\pi} \approx 0.900r$$

قوس ربع الدائرة  $\left(\alpha = \frac{\pi}{4}\right)$  (الشكل 119)

$$y_0 = \frac{3r}{\pi} \approx 0.955r$$

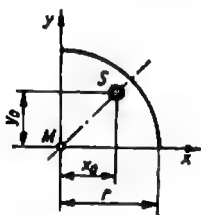
قوس سدس الدائرة  $\left(\alpha = \frac{\pi}{6}\right)$  (الشكل 119)

$$y'_0 \approx \frac{2}{3}h$$

قوس دائرة مسطح (الشكل 120)

$$x_0 = y_0 = \frac{2r}{\pi} \approx 0.637r$$

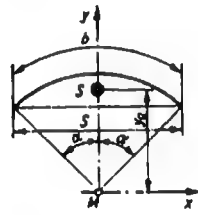
قوس ربع دائرة حسب (الشكل 121)



الشكل 121



الشكل 120



الشكل 119

## 2.4.1 مركز ثقل السطوح

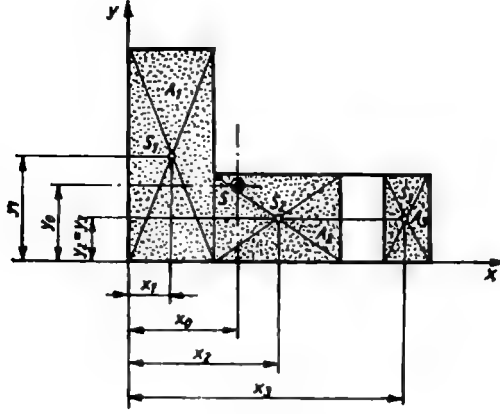
إحداثيات مركز ثقل سطح مكون

من عدة سطوح (الشكل 122)

$$x_0 = \frac{\sum(Ax)}{\sum A} \quad y_0 = \frac{\sum(Ay)}{\sum A}$$

$$x_0 = \frac{A_1x_1 + A_2x_2 + A_3x_3 \dots}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots}$$

$$y_0 = \frac{A_1y_1 + A_2y_2 + A_3y_3 \dots}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots}$$

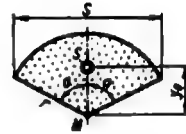


الشكل 122

$$y_0 = \frac{2rs \sin \alpha}{3\alpha}$$

$$y_0 = \frac{2rs}{3b}$$

قطاع دائري  
 $\alpha$  بالراديان (قياس القوس)  
 طول القوس  $b$   
 (الشكل 123)



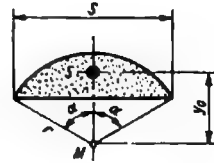
الشكل 123

$$y_0 = \frac{4r}{3\pi} \approx 0.424r$$

$$y_0 = \frac{4\sqrt{2}r}{3\pi} \approx 0.6r$$

سطح نصف الدائرة  
 $\left(\alpha = \frac{\pi}{2}\right)$

سطح ربع الدائرة  
 $\left(\alpha = \frac{\pi}{4}\right)$



الشكل 124

$$y_0 = \frac{s^3}{12A}$$

$$y_0 = \frac{2r \sin^3 \alpha}{3(\alpha - \sin \alpha \cos \alpha)}$$

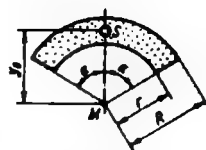
قطاع دائري  
 $\alpha$  الراديان (قياس القوس)

A مساحة المقطع الشكل (124)

$$y_0 = \frac{2 R^3 - r^3}{3 R^2 - r^2} \frac{\sin \alpha}{\alpha}$$

مقطع من حلقة دائرية

انظر الشكل (125)

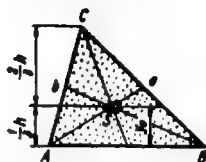


الشكل 125

$$y_0 = \frac{1}{3} h$$

المثلث

انظر الشكل (126)



الشكل 126

مقطع كروي مسطح

$$y_0 = \frac{2}{5} h$$

شكل (127)



الشكل 127

$$y_0 = \frac{2}{5} h$$

مقطع قطعي (من قطع) كامل

الشكل (128)



الشكل 128

$$x_0 = \frac{3}{8} a$$

مقطع قطعي نصف

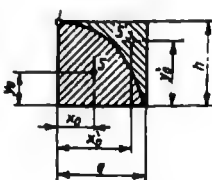
$$x_0' = \frac{3}{4} a$$

والمساحة المتبقية. الشكل

(129)

$$y_0 = \frac{2}{5} h$$

$$y_0 = \frac{7}{10} h$$



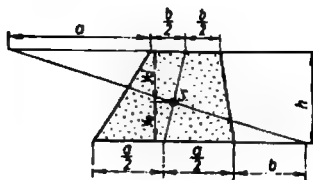
الشكل 129

$$y_0 = \frac{h}{3} \frac{a+2b}{a+b}$$

$$y_0' = \frac{h}{3} \frac{2a+b}{a+b}$$

شبه المنحرف

الشكل (130)



الشكل 130

## 5.1 ردود الأفعال في المساند

### 1.5.1 ردود أفعال المساند في الجوائز المقررة ستاتيكية

تكون الجوائز مقررة ستاتيكية ظاهرياً، عندما تكون ردود أفعال المساند قابلة للتحديد من شروط التوازن. المسند إما أن يكون متحرك أو ثابت حسب الشكل (131).

$$F_{Rx} = F_R \cos \alpha$$

$$F_{Ry} = F_R \sin \alpha$$

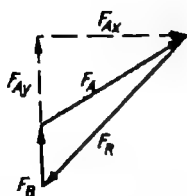
الحلول مع شروط التوازن.

$$\sum M_A = 0 : F_R \sin \alpha \cdot a - F_B \cdot l = 0 \Rightarrow F_B = \frac{a}{l} F_R \sin \alpha$$

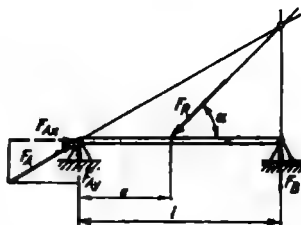
$$\sum F_y = 0 : F_{Ay} - F_R \sin \alpha + F_B = 0 \Rightarrow F_{Ay} = \frac{l-a}{l} F_R \sin \alpha$$

$$\sum F_x = 0 : F_{Ax} - F_R \cos \alpha = 0 \Rightarrow F_{Ax} = F_R \cos \alpha$$

$$F_A = \sqrt{F_{Ay}^2 + F_{Ax}^2}$$



الشكل 132



الشكل 131

### 2.5.1 ردود أفعال المساند في الجوائز غير المقررة ستاتيكيًا

عندما يكون هناك أكثر من ثلاث مساند غير مقررة. فإنه بالإضافة إلى شروط التوازن الثلاثة، هناك معادلات أخرى تشكل من تغير العمل، انظر (مقاومة المواد)

معادلات تحديد القوى  $F_B$  للمسند غير المقرر ستاتيكيًا

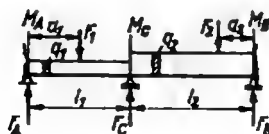
$$0 = \frac{\partial W_B}{\partial F_F}$$

معادلات تحديد العزم  $M_B$  للمسند غير المقرر ستاتيكيًا

$$0 = \frac{\partial W_F}{\partial M_B}$$

تطبيق معادلات العزوم الثلاثة للجوائز

تطبيق معادلات كلايبيرون التالية للعزوم الثلاثة في عزوم العطالة غير المتغيرة والتي تنتج عن تقسيم الجوائز إلى عدة حقول 1 و 2، الشكل (133)



الشكل 133

الحل التخطيطي مع مخطط القوى لجوائز محمل مع ثلاث مساند حسب الشكل (133) تطبيق:



$$M_B = 0 \quad ; M_A = 0$$

$$2M_c(l_1 + l_2) = \frac{F_1 a_1}{l_1}(l_1^2 - a_1^2) - \frac{F_2 a_2}{l_2}(l_2^2 - a_2^2) - \frac{1}{4}(q_1 l_1^3 + q_2 l_2^3)$$

نحصل من هذه العلاقة على  $M_c$

قوى المساند من شروط العزوم

$$F_A/l_1 - F_1(l_1 - a_1) - q_1 \frac{l_1^2}{2} - M_c = 0 \Rightarrow F_A$$

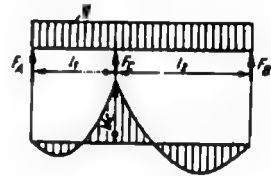
$$F_B/l_2 - F_2(l_2 - a_2) - q_2 \frac{l_2^2}{2} - M_c = 0 \Rightarrow F_B$$

في الجوائز ذات الحمولة الثابتة وترتكز على ثلاثة مساند حسب الشكل 134

$$M_c = \frac{q}{8} \frac{l_1^3 + l_2^3}{l_1 + l_2} \quad \begin{array}{l} \text{العزم في} \\ \text{والحمولة} \\ \text{موزعة بانتظام} \end{array}$$

$$F_A = \frac{q l_1}{2} + \frac{M_c}{l_1} \quad \begin{array}{l} \text{القوة في المسند} \\ A \end{array}$$

$$F_B = \frac{q l_2}{2} + \frac{M_c}{l_2} \quad \begin{array}{l} \text{القوة في المسند} \\ B \end{array}$$

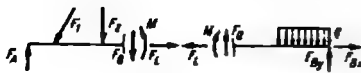


الشكل 134

## 6.1 ردود أفعال المقاطع في الجوائز

القوى الطولية، والقوى العرضية، وعزم العطالة

مصطلح اتجاه ردود أفعال المقاطع الموجبة



الشكل 136



الشكل 135

القوة الطولية  $F_L$ : إن محصلة القوى الخارجية مع اتجاه القضيب في مقطع الجائز متوازن مع القوة الطولية.

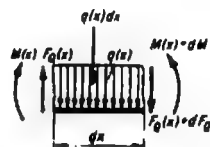
القوة العرضية  $F_B$ : إن محصلة القوى الخارجية عمودية على اتجاه الجائز في المقطع المتقطع متوازن مع القوى العرضية

العزم  $M$ : إن عزوم القوى الخارجية في مقطع الجائز متوازن مع العزم في المكان المقطوع

بعد إنزال ردود أمثال المقاطع الموجبة تعين ردود الأفعال للمقاطع من شروط التوازن العلاقات بين الحمولة الموزعة، القوى العرضية، وعزم الانعطاف

$$\frac{dF_Q(x)}{dx} = -q(x)$$

إن ازدياد خط القوة العرضية في الموقع  $x$  يساوي القيمة السالبة للحمل في نفس الموقع



$$\frac{dM(x)}{dx} = F_Q(x)$$

إن ازدياد خط العزم في الموقع  $x$  يساوي القوة العرضية في نفس الموقع.

الشكل 137

$$\frac{d^2M(x)}{dx^2} = \frac{dF_Q(x)}{dx} = -q(x)$$

القيمة الأعظمية لخط العزوم ( $M_{max}$ )

$$\frac{dM(x)}{dx} = F_Q = 0$$

إن اختراق خط القوة العرضية من الصفر يحدد الموقع الذي تقع فيه القيمة الحدية للعزم.

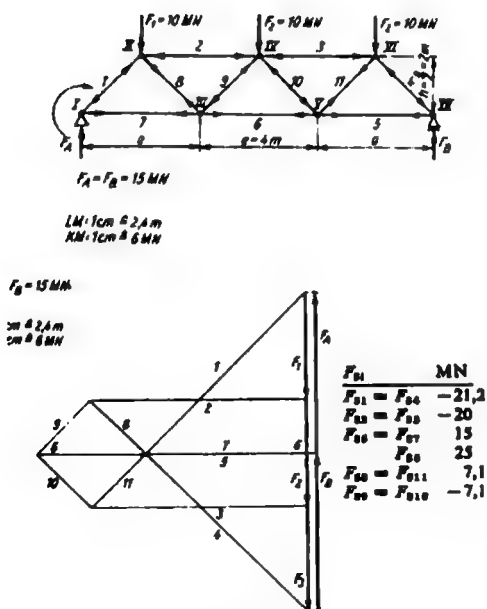
### 1.7 تحديد قوى القضبان في الجوائز الشبكية المستوية

1.7.1 بطريقة مخطط القوى (مخطط Cremon). حسب الشكل (138)

بعد تحديد الاصطلاح الاتجاهي لمخطط القوى المحمل والقوى المضجعية بطريقة الرسم، يرسم مخطط القوى بنفس الاتجاه لنقاط العقد المنفردة.

إن نقطة العقدة تختار بقوتين مجهولتين، أما القوى التي تتلاقى في مخطط الموقع في نقطة واحدة فهي تشكل بمخطط Cremona مضلع قوى مغلق.

إن قوى القضبان التي تشكل مضلع القضبان، تتقاطع في مخطط Cremona في نقطة واحدة. عند الحفاظ على الاصطلاح الاتجاهي تظهر كل قوة في مخطط القوى مرة واحدة فقط.



الشكل 138

### 2.7.1 طريقة المقاطع بطريقة Ritter (الشكل 139)

تفصل الجائز. بمقطع بحيث تكون كل ثلاث قوى في القضبان مجهولة، ولا تتلاقى في نقطة واحدة.

في موقع المقطع تطبق قوى الشد، التي تكون متوازنة مع القوى الخارجية وبشروط التوازن تحسب القوى المتولدة في القضبان.

تطبق معادلة العزوم في نقطة الموقع لقضبان مقطوعة مرتين، بذلك تحسب القوة الثالثة بشكل غير مباشر.

مثال: مقطع في القضبان 2, 8, 7

$$\Sigma M_{III} = 0:$$

$$F_A \cdot 4 \text{ m} - F_1 \cdot 2 \text{ m} + F_{s2} \cdot 2 \text{ m} = 0$$

$$F_{s2} = -20 \text{ MN} \text{ (قوة ضغط)}$$

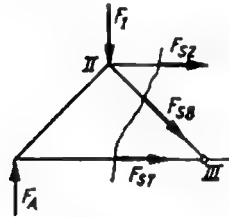
$$\Sigma M_{II} = 0:$$

$$F_A \cdot 2 \text{ m} - F_{s7} \cdot 2 \text{ m} = 0$$

$$F_{s7} = F_A = 15 \text{ MN}$$

$$\Sigma F_y = 0: F_A - F_1 - F_{s8} \sin 45^\circ = 0$$

$$F_{s8} = 5\sqrt{2} \text{ MN}$$



الشكل 139

### 3.7.1 طريقة نقطة العقد (مقطع دائري)

يمكن فصل العقد من ربطة العقد، وتطبيق قوة الشد في موقع المقطع. ينتج مباشرة من شروط التوازن قوى القضبان لنقاط العقد بقضيين مجهولين.

إن القوى الحاصلة في القضبان ترتبط بالعقد المجاورة وتحدد بالتسلسل حسب كل قوى القضبان.

مثال: مقطع حول العقدة I

$$\sum F_y = 0;$$

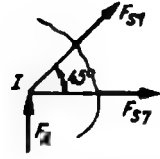
$$F_A + F_{s1} \sin 45^\circ = 0$$

$$F_{s1} = -15\sqrt{2} \text{ MN}$$

$$\sum F_x = 0;$$

$$F_{s7} + F_{s1} \cos 45^\circ = 0$$

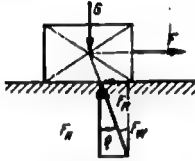
$$F_{s7} = 15 \text{ MN}$$



الشكل 140

## 1.8 الاحتكاك

الاحتكاك بين سطحين مستويين



الشكل 141

$\mu$  عامل احتكاك الانزلاق

$\mu_0$  عامل احتكاك

$\rho$  زاوية الاحتكاك

$F_N$  القوة الناعمية

$F_W$  قوة المقاومة

$$F_R = \mu F_N$$

$F_R$  قوة الاحتكاك في الحركة المنتظمة

$$F_{R0} \leq \mu_0 F_N$$

$F_{R0}$  قوة الاحتكاك في حالة السكون

(احتكاك التماسك)

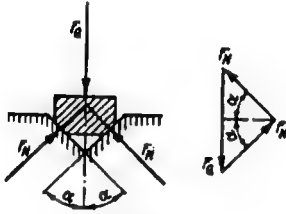
$$\mu = \tan \rho = \frac{F_R}{F_N}$$

$$F_W = \sqrt{F_R^2 + F_N^2}$$

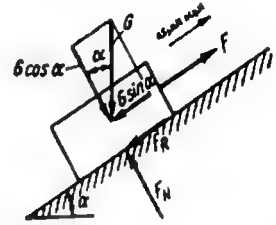
$F_W$  قوة المقاومة

### المجلد 13 عوامل الاحتكاك

جملة المواد	من أجل الانزلاق		من أجل التماسك	
	جاف	مصقول (مدحون)	جاف	مصقول
فولاذ - فولاذ	0.10 ... 0.12	0.04 ... 0.07	0.15 ... 0.3	0.1 ... 0.12
غرافيت - فولاذ	0.15 ... 0.2	0.05 ... 0.1	0.18 ... 0.2	0.1 ... 0.2
برونز - فولاذ	0.15 ... 0.2	0.05 ... 0.1	0.18 ... 0.2	0.1 ... 0.2
غرافيت - غرافيت	0.15 ... 0.25	0.02 ... 0.1	0.2 ... 0.3	0.1 ... 0.15



الشكل 143



الشكل 142

$F = G (\sin \alpha \pm \mu \cos \alpha)$  قوة الرفع (+) في حركة الرفع المنتظمة (الشكل 142)

قوة التوقف (-) في حركة الرفع المتباطئة على سطح مائل

$F_0 = G (\sin \alpha - \mu_0 \cos \alpha)$  قوة التماسك ضد الانزلاق

الاحتكاك في الصواميل (الشكل 143)

$$F_R = \frac{\mu}{\sin \alpha} F_Q = \mu' F_Q$$

$F_R$  قوة الاحتكاك أثناء حركة الحمل

$$\mu' = \frac{\mu}{\sin \alpha}$$

$\mu'$  عامل الاحتكاك في الصامولة

$$F_1 = F_Q \frac{\sin(\alpha + \rho_2 + \rho_3) \cos \rho_1}{\cos(\alpha + \rho_1 + \rho_2) \cos \rho_3}$$

$F_1$  القوة اللازمة لتحريك الحابور

(الشكل 144)

من أجل  $\rho_1 = \rho_2 = \rho_3 = \rho$  نطبق:

$$F_1 = F_Q \tan(\alpha + 2\rho)$$

$$F_2 = F_Q \tan(\alpha - 2\rho)$$

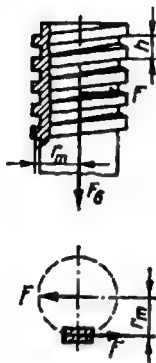
$$\alpha \leq 2\rho$$

$F_2$  القوة اللازمة لنزع الخابور

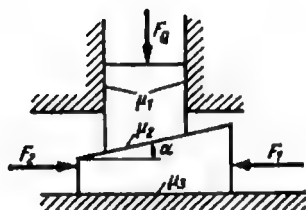
القوة اللازمة لحشر الخابور

القوة اللازمة لنزع الخابور

شرط الكبح الذاتي



الشكل 145



الشكل 144

الاحتكاك في البراغى

$$\tan \alpha = \frac{h}{2r_m \pi}$$

$\alpha$  زاوية التقدم؛  $h$  الخطوة

$r_m$  نصف قطر الحلزون الوسطي

تطبق الصيغ التالية للحلزون المسطح، في حالة الحلزون ذو شبه المنحرف والمثلثي  
يجب تعويض  $\rho'$  بدلاً من  $\rho$

$$\tan \rho' = \mu' = \frac{\mu}{\cos(\beta/2)}$$

$\rho'$  زاوية الاحتكاك لقمة الحلزون  
 $\beta$  الزاوية الجانبية

$$F = F_Q \tan (\alpha \pm \rho)$$

القوة المحيطة، + للرفع، - لإنزال الحمل  $F_Q$

$$M = Fr_m = F_Q r_m \tan (\alpha \pm \rho)$$

العزم المطبق (+ لرفع الحمل  $F_Q$ ، - لإنزال الحمل  $F$ )

$$\eta = \frac{\tan \alpha}{\tan (\alpha + \rho)}$$

مردود حركة البرغي

$$\alpha \leq \rho$$

في حال ظهور الكبح الذاتي

الاحتكاك في الخوابير الطويلة (الشكل 146)

$$M_R = \frac{2}{3} \mu_1 F_Q \frac{r_a^3 - r_1^3}{r_a^2 - r_1^2}$$

عزم الاحتكاك للخابور طويل (الشكل 146)

$$M_R = \frac{2}{3} \mu_1 F_Q r$$

عزم الاحتكاك للخابور كامل  $r_1 = 0$

$\mu_1$  عامل احتكاك الخابور يحدد من نسب التشغيل وشكل المضجع.

الاحتكاك في خابور الحمل

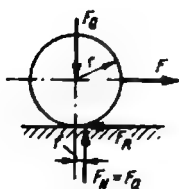
$$F_R = \mu_1 F_Q$$

قوة الاحتكاك

$$M_R = \mu_1 F_Q r$$

عزم الاحتكاك

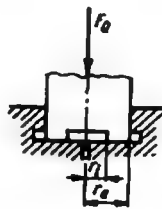
$\mu_1$  عامل احتكاك الخابور قيمته غير ثابتة، وتتغير مع شروط التشغيل



الشكل 148



الشكل 147



الشكل 146



### احتكاك التدرج (شكل 148)

$$F_R = \frac{f}{r} F_Q$$

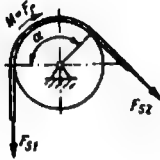
مقاومة التدرج

$$M = Fr = F_Q f$$

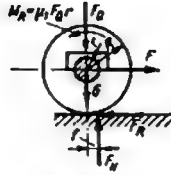
عزم احتكاك التدرج

$$f = \frac{F}{F_Q} r$$

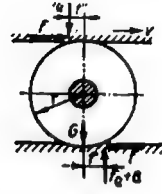
ذراع في احتكاك التدرج



الشكل 151



الشكل 150



الشكل 149

$$F = F_R = (F_Q + G) \frac{f}{2r} + F_Q \frac{f'}{2r}$$

قوة التشغيل للجسم المتدرج بين سطحين متحركتين (شكل 149)

$$F = F_R = \frac{f}{r} F_Q$$

قوة التشغيل حسب الشكل (149)، عندما  $f' = f$  و  $G = 0$

$$F = F_R = \frac{(F_Q + G)f + \mu_1 F_Q r}{R}$$

مقاومة الإقلاع عند مقاومة التدرج واحتكاك الخابور (شكل 150)

### احتكاك الحبال (شكل 151)

$$F = F_{s1} - F_{s2}$$

قوة محيطية = قوة احتكاك الحبل

$$F_{s1} = F_{s2} e^{\mu \alpha}$$

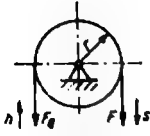
معادلة احتكاك الحبل  $F_{s1} > F_{s2}$  لأن  $\alpha > 0$

$\mu$  عامل احتكاك الحبل  $\mu = \text{Const}$

$\alpha$  زاوية الإحاطة rad (مقياس القوس)

## 9.1 البكرات وأنواعها

البكرة الثابتة



الشكل 152

$$F = \frac{F_Q}{\eta_f}$$

$$\eta_f \approx 0.95$$

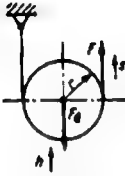
قوة الرفع

مردود البكرة الثابتة

$$s = h$$

بعد القوة = بعد الحمل

البكرة الحرة



الشكل 153

$$F = \frac{F_Q}{2\eta}$$

$$\eta = 0.95 \dots 0.97$$

قوة الرفع

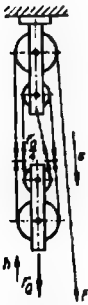
مردود البكرة الحرة

$$s = 2h$$

بعد القوة

بعد الحمل

البكرات المتعددة



الشكل 154

$$F = \frac{F_Q}{n\eta}$$

$$s = nh$$

$$\eta = 0.91 \dots 0.94$$

$$\eta = 0.86 \dots 0.90$$

$$\eta = 0.80 \dots 0.87$$

$$\eta = 0.76 \dots 0.83$$

قوة الرفع اللازمة

عدد البكرات

بعد القوة

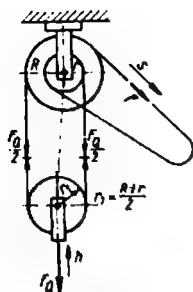
من أجل بكرتين

من أجل أربع بكرات

من أجل ست بكرات

من أجل ثمان بكرات

النظام التفاضلي لمجموعة البكرات (شكل 154)



الشكل 155

$$F = F_Q \frac{R-r}{\eta 2R} = \frac{F_Q}{\eta} i \quad \text{قوة الرفع}$$

$$s = h \frac{2R}{R-r} = \frac{h}{i} \quad \text{بعد القوة}$$

$$i = \frac{R-r}{2R} \quad \text{نسبة النقل}$$

$$\eta = 0.4 \dots 0.5 \quad \eta_z \text{ في حال الرفع بالمسنتات}$$

$$\eta_z = 0.8 \dots 0.9$$

## 2. التحريك

### 1.2 الحركة الانتقالية - مبدأ d'Alembert

$$F = ma$$

القانون الأساسي في التحريك

F محصلة كافة القوى الخارجية المؤثرة على الجسم

m كتلة الجسم

a التسارع

$$F + (-ma) = 0$$



الشكل 156

من خلال إسقاط قوة d'Alembert المساعدة (قوة

عطالة)  $-ma$ ، المعاكسة لاتجاه التسارع، يمكن أن

تطبق للعملية الديناميكية شروط التوازن (الشكل

(156)

الحركة المتسارعة على مسار أفقي (شكل 157)

$$F = m(a + \mu g)$$

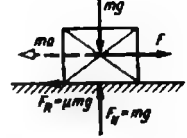
القوة المطلوبة مع اعتبار احتكاك الانزلاق



شكل 159



الشكل 158



الشكل 157

سقوط حر مع اعتبار مقاومة الهواء

الحركة المتسارعة على مسار شاقولي عند السقوط الحر  
الشكلين (158 و 159)

$$F = m(g \pm a)$$

القوة المطلوبة دون اعتبار مقاومة الهواء  
(+ إلى الأعلى، - إلى الأسفل)

$$F_R = c_w \frac{\rho}{2} A v^2 = k v^2$$

$F_R$  مقاومة الجريان مقاسة بالوحدة N

$k$  عامل الجريان  $Ns^2/m^2$

$\rho$  كثافة الهواء  $kg/m^3$

$$k = c_w \frac{\rho}{2} A = \text{const}$$

$A$  إسقاط المقطع العرضي عمودياً بالنسبة  
لاتجاه الحركة  $m^2$

$v$  السرعة بـ  $m/s$

$c_w$  عامل المقاومة (لا بعدي)

$$ma + kv^2 - mg = 0$$

معادلة الحركة للسقوط الحر باعتبار  
مقاومة الهواء. (انظر الشكل 159)

$$v_{\max} = \sqrt{\frac{mg}{k}}$$

السرعة الأعظمية عندما  $a = 0$

$$v = v_{\max} \tanh \frac{gt}{v_{\max}} \quad \text{السرعة عند الزمن } t, \text{ من أجل } t = 0$$

تكون  $v = 0$

$$s = \frac{v_{\max}^2}{g} \ln \left( \cosh \frac{gt}{v_{\max}} \right) \quad \text{المسافة المقطوعة في الزمن } t, \text{ من أجل } t = 0$$

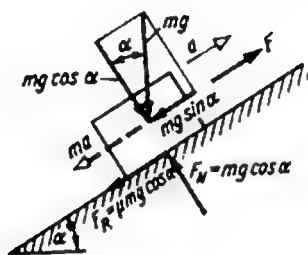
تكون  $v = 0$

$$t = \frac{m}{2kv_{\max}} \ln \frac{v_{\max} + v}{v_{\max} - v}$$

الحركة المتسارعة على مسار مائل مع احتكاك (الشكلين 160، 161)

$$F = m(g \sin \alpha \pm a \pm \mu g \cos \alpha) \quad \text{القوة للحركة المتسارعة}$$

+ للأعلى، - للأسفل (شكل 160)



الشكل 160

حركة متسارعة للأعلى مع اعتبار الاحتكاك

$$a = \frac{F}{m} - g(\sin \alpha + \mu \cos \alpha) \quad \text{معادلة الحركة للحركة للأعلى}$$

$$v = \left[ \frac{F}{m} - g(\sin \alpha + \mu \cos \alpha) \right] t + v_0 \quad \text{(شكل 160) بشروط ابتدائية}$$

$s(0) = s_0$  و  $v(0) = v_0$

$$s = \left[ \frac{F}{m} - g(\sin \alpha + \mu \cos \alpha) \right] \frac{t^2}{2} + v_0 t + s_0$$

$$ma + \mu mg \cos \alpha - mg \sin \alpha = 0 \quad \text{معادلة حركة جسم بتأثير وزنه}$$

$$a = g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha) \quad \text{الذاتي على مستو مائل (الشكل 161)}$$

$$v = g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha) t$$

بشروط ابتدائية، من أجل  $t = 0$

$$s = g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha) \frac{t^2}{2}$$

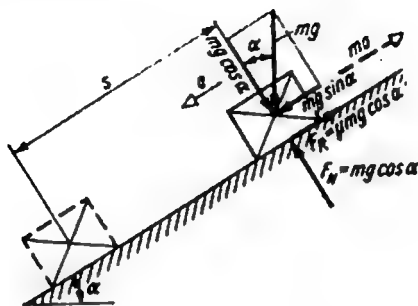
تكون  $v = 0$  و  $s = 0$

$$m \frac{v^2}{2} = mg s \sin \alpha - \mu \cos \alpha \frac{t^2}{2}$$

معادلة الحركة من معادلة الطاقة

$$v = \sqrt{2sg(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)}$$

للشكل 161



الشكل 161

حركة جسم بتأثير وزنه الذاتي على مستو مائل

## 2.2 الحركة الدورانية حول محور ثابت (الشكل 162)

القانون الأساسي للديناميك في الحركة الدورانية

$$M = J_A \alpha = J_A \ddot{\phi}$$

$M$  عزم الدوران الخارجي مقاس بالواحدة  $N.m$

$$\alpha = \ddot{\phi} \text{ التسارع الزاوي } s^{-2}$$

$m$  كتلة الجسم  $kg$



الشكل 162

$J_A$  عزم العطالة الكتلي بالنسبة لمحور الدوران  $A$  مقاس

بالواحدة  $kg.m^2$

### قانون Steiner

$$J_A = J_S + s^2 m$$

$J_S$  عزم العطالة الكتلي بالنسبة للمحور المواز لـ  $A$  والمار من مركز الثقل  $S$  بمقاس بالوحدة  $\text{kg m}^2$

$s$  البعد بين المحاور  $A$  و  $S$  مقاس بالوحدة  $m$

$$i = \sqrt{\frac{J}{m}}$$

$i$  نصف قطر العطالة بـ  $m$ ، وهو المسافة التي تكون فيها الكتلة كنقطة مادية مرتبة مع عزم العطالة الكتلي كما لو كان توزيع الكتلة حقيقيا.

$$J = m i^2 = m \frac{D_i^2}{4}$$

$D_i$  قطر العطالة  $m$

$$m_{red} = \frac{J}{r^2}$$

$m_{red}$  الكتلة المختزلة هي الكتلة الواقعة على بعد  $r$ ، كنقطة أو كتلة على شكل حلقي  $m_{red}$  بنفس عزم العطالة الكتلي كما في توزيع الكتلة الحقيقي

$$J = m_{red} r^2$$

عزم الاهتزاز مقاس بالوحدة  $\text{kg m}^2$ ، المعادلة صالحة للصفائح الدوارة

$$m D_i^2 = 4J$$

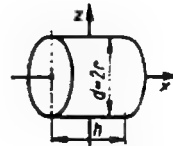
## 3.2 عزوم العطالة الكتلية

### 1. الاسطوانة

$$J_x = \frac{1}{8} m d^2 = \frac{1}{2} m r^2$$

$$i_x = r \sqrt{\frac{1}{2}}$$

$$J_z = \frac{1}{4} m \left( r^2 + \frac{h^2}{3} \right)$$



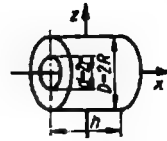
الشكل 163

## 2. الاسطوانة المفرغة

$$J_x = \frac{1}{2} m(R^2 + r^2)$$

$$i_x = \sqrt{\frac{R^2 + r^2}{2}}$$

$$J_z = \sqrt{\frac{1}{4} m \left( R^2 + r^2 + \frac{h^2}{3} \right)}$$



الشكل 164

$R \approx r \approx r_m$  الاسطوانة المفرغة ذات الجدران الرقيقة

$$J_x = m r_m^2$$

$$J_z = \frac{1}{2} m \left( r_m^2 + \frac{h^2}{6} \right)$$

## 3. الكرة

$$J_x = J_y = J_z = \frac{2}{5} m r^2$$

$$i = r \sqrt{0.4}$$



الشكل 165

الكرة المفرغة

$$J_x = J_y = J_z = \frac{2}{5} m \frac{R^5 - r^5}{R^3 - r^3}$$

$$i = \sqrt{\frac{2}{5} \frac{R^5 - r^5}{R^3 - r^3}}$$

$R \approx r \approx r_m$  الكرة المفرغة ذات الجدران الرقيقة

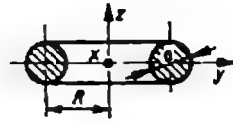
$$J_x = J_y = J_z = \frac{2}{3} m r_m^2$$



#### 4. الحلقة

$$J_x = J_y = \frac{m}{2} \left( R^2 + \frac{5}{4} a^2 \right)$$

$$J_z = m \left( R^2 + \frac{3}{16} a^2 \right)$$



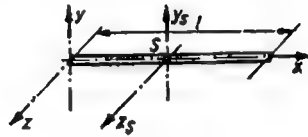
الشكل 166

#### 5. العصا الرقيقة

$$J_x = 0$$

$$J_{zs} = \frac{1}{12} ml^2$$

$$J_z = \frac{1}{3} ml^2$$



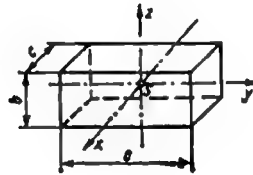
الشكل 167

#### 6. المكعب

$$J_x = \frac{1}{12} m(a^2 + b^2)$$

$$J_y = \frac{1}{12} m(b^2 + c^2)$$

$$J_z = \frac{1}{12} m(a^2 + c^2)$$



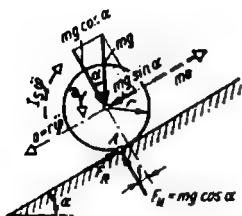
الشكل 168

### 2.4 الحركة العامة - الحركة الانتقالية والدورانية

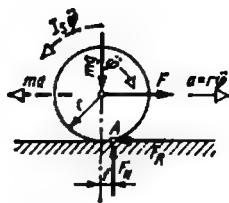
في الحركة العامة يمكن إيجاد علاقات الحركة الانتقالية لمركز الثقل والحركة الدورانية حول مركز الثقل S للجسم الصلب.

الطاقة الكامنة في الحركة العامة

$$W = \frac{mv_s^2}{2} + \frac{J\omega_s^2}{2}$$



الشكل 170



الشكل 169

حركة التدحرج على مستو أفقي (الشكل 169)

$$Fr - mar - mgf - J_S \ddot{\phi} = 0$$

$$J_S = m_{red} r^2; a = r\ddot{\phi}$$

معادلة الحركة أثناء التدحرج على مستو

أفقي،  $M_A = 0$  (الشكل 169)

$$F = m \left( a + g \frac{f}{r} \right) + m_{red} a$$

قوة الشد في حركة التدحرج المتسارعة مع  
اعتبار مقاومة التدحرج.

$$F = ma + m_{red} a = m(a + \mu g)$$

قوة الشد في التدحرج المثالي من أجل  $f = 0$

يصبح  $J_S \ddot{\phi} = \mu mgr$  مع  $0 < \mu \leq \mu_0$

حركة التدحرج على مستو مائل (الشكل 170)

$$\sum M_A = 0: mgr \sin \alpha - mar - mgf \cos \alpha - J_S \ddot{\phi} = 0$$

$$J_S \ddot{\phi} = m_{red} r^2 \ddot{\phi} = m_{red} r a$$

$$a = \frac{mg \left( \sin \alpha - \frac{f}{r} \cos \alpha \right)}{m + m_{red}}$$

التسارع أثناء حركة الجسم المتدحرج  
إلى أسفل مع اعتبار مقاومة التدحرج  
(الشكل 170)

$$a = \frac{mg \sin \alpha}{m + m_{red}}$$

التسارع أثناء التدحرج المثالي على  
مستو مائل  $f = 0$

## العزم المحرك والطاقة الحركية في منشآت التشغيل

$$M = mar + mgr + J_s \alpha$$

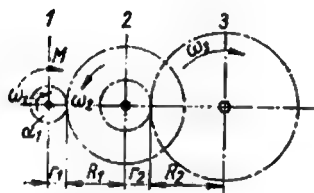
عزم التسارع مقاس بالواحدة N.m

$$M = (m + m_{red}) ar + mgr$$

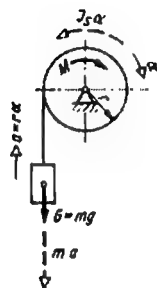
من أجل نظام حسب الشكل (171)

$$M = J_1 \alpha_1 + J_2 \alpha_2 \frac{r_1}{R_1} + J_3 \alpha_3 \frac{r_1}{R_1} \frac{r_2}{R_2}$$

عزم التسارع لآلية دوارة حسب الشكل (172)



الشكل 172



الشكل 171

$$\alpha_2 = \frac{r_1}{R_1} \alpha_1$$

$$\alpha_3 = \frac{r_2}{R_2} \alpha_2 = \frac{r_1}{R_1} \frac{r_2}{R_2} \alpha_1 = \frac{n_3}{n_1} \alpha_1$$

$$M = \left[ J_1 + J_2 \left( \frac{r_1}{R_1} \right)^2 + J_3 \left( \frac{r_1}{R_1} \right)^2 \left( \frac{r_2}{R_2} \right)^2 \right] \alpha_1$$

$$= \left[ J_1 + J_2 \left( \frac{n_2}{n_1} \right)^2 + J_3 \left( \frac{n_3}{n_1} \right)^2 \right] \alpha_1$$

W : الطاقة الحركية للآلية الدوارة  
حسب الشكل (172)

$$W = J_1 + J_2 \frac{r_1^2}{R_1^2} + J_3 \frac{r_1^2}{R_1^2} \frac{r_2^2}{R_2^2} \frac{\omega_1^2}{2}$$

$$W = J_1 + J_2 \frac{n_2^2}{n_1^2} + J_3 \frac{n_3^2}{n_1^2} \frac{\omega_1^2}{2}$$

$$i_1 = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{R_1}{r_1}$$

$i_1$  نسبة النقل من المسنن 1 إلى 2

$$i_2 = \frac{\omega_2}{\omega_3} = \frac{n_2}{n_3} = \frac{R_2}{r_1}$$

$i_2$  نسبة النقل من المسنن 2 إلى 3

$$i_{Ges} = i_1 i_2 = \frac{n_1}{n_3}$$

$i_{Ges}$  نسبة النقل الكلية للآلية

### 3. علم مقاومة المواد

#### 1.3 مصطلحات أساسية

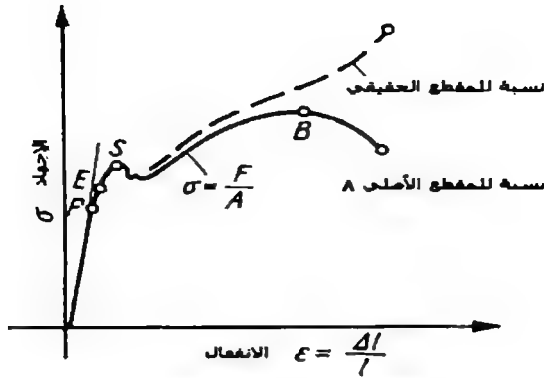
##### 1.1.3 الإجهادات الحدية (انظر الشكل 173)

$\sigma_p$  الإجهاد في الحدود النسبية

$\sigma_E$  الإجهاد في الحدود المرنة

$\sigma_s$  الإجهاد في حدي السيلان والانفعال

$\sigma_B$  الإجهاد في حد الانكسار - مقاومة الشد



(الشكل 173) مخطط الإجهاد والانفعال لفولاذ مرن عند الشد

$\sigma_B$  إجهاد الشد

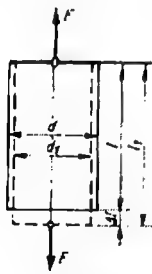
$$\sigma_B = \frac{F_{\max}}{A}$$

$F_{\max}$  الحمل الأعظمي

A المقطع العرضي قبل الحمل

### 2.1.3 الإجهادات والانفعالات أثناء الشد والضغط

الجدول 14 القيمة الوسطية لمودول المرونة ومودول الانزلاق ( $1 \text{ MPa} = 1 \text{ N/mm}^2 \approx 10 \text{ kp/cm}^2$ )



الشكل 174

المادة	E (MPa)	G (MPa)
فولاذ، فولاذ صب	210000	81000
حديد صب رمادي	100000	38500
ألومنيوم	72000	28000
نحاس أصفر	80000	31000
أخشاب أوروبية	10000	3900

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l} = \frac{l_1}{l}$$

الانفعال

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l} 100\%$$

الانفعال المئوي %

$$\sigma = \epsilon E$$

قانون Hook يطبق حتى حدود النسبية  $\sigma \leq \sigma_p$

$$E = \frac{l}{\alpha} = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

E مودول المرونة (عامل بونج) (انظر الجدول 14)

$\alpha$  عامل التمدد

$$\Delta l = \epsilon l = \frac{\sigma}{E} l = \frac{Fl}{AE}$$

$\Delta l$  تغير الطول

$$\epsilon_q = \frac{\Delta d}{d} = \frac{d_1 - d}{d}$$

$\epsilon_q$  التمدد العرضي

$$m = \frac{1}{\mu} = \left| \frac{\epsilon}{\epsilon_q} \right|$$

m ثابت Poisson، للفولاذ  $m = \frac{10}{3}$

$$\epsilon_q = -\mu \epsilon = -\mu \frac{\sigma}{E}$$

$\mu$  عامل الانكماش العرضي

$$\epsilon_q = -\frac{\sigma}{mE}$$

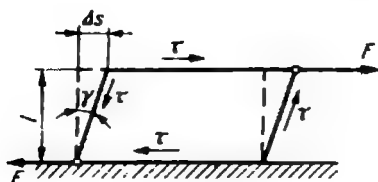
$$W = \frac{1}{2} F \Delta l = \frac{1}{2} \frac{F^2 l}{EA}$$

W عمل تغير الشكل مقاس بالوحدة J

$$w = \frac{W}{V} = \frac{\sigma \epsilon}{2} = \frac{\sigma^2}{2E}$$

w العمل المبذول لتغير الشكل النوعي  $J/cm^3$

### 3.1.3 الإجهادات والانفعالات أثناء الانسحاب



الشكل 175

$$\gamma = \frac{\Delta s}{l} \quad \gamma \text{ الانزياح أو زاوية الإزاحة للحالات العملية حيث}$$

$$\text{نعوض } \gamma \approx \gamma \text{ tg}$$

$$\tau = \gamma G \quad \text{قانون Hook لإجهادات الدفع، وهو صالح ضمن مجال النسبية}$$

$$G = \frac{1}{\beta} \quad G \text{ مودول الانزلاق (انظر الجدول 14)}$$

$$\beta \text{ عامل الدفع}$$

$$\Delta s = \gamma l = \frac{\tau l}{G} \quad \Delta s \text{ الإزاحة}$$

$$W = \frac{1}{2} F \Delta s = \frac{1}{2} \frac{F^2 l}{GA} \quad W \text{ العمل اللازم لتغيير الشكل مقاس بالوحدة J}$$

$$w = \frac{W}{V} = \frac{1}{2} \tau \gamma = \frac{1}{2} \frac{\tau^2}{G} \quad w \text{ العمل النوعي لتغيير الشكل مقاس بالوحدة J/cm}^3$$

$$G = \frac{E}{2(1+\mu)} = \frac{mE}{2(m+1)} \quad \text{العلاقة بين مودول الانزلاق G ومودول المرونة E}$$

$$G \approx 0.38E \quad m = \frac{10}{3} \text{ يطبق للمعادن بـ}$$

### 4.1.3 الإجهادات المسموح بها

$$\sigma_{alla} = \frac{\sigma_B}{S_B} \quad \sigma_{alla} \text{ الإجهاد المسموح به}$$

$$\sigma_{alla} = \frac{\sigma_S}{S_S} \quad S_B \text{ الأمان المحدد بالمقارنة مع مقاومة الشد للمواد القصيفة}$$

$$S_B = 3 \dots 6$$

$$\sigma_{avei} \leq \sigma_{alla} \quad S_S \text{ الأمان المحدد بالمقارنة مع حد التمدد للمواد القاسية } S_S = 1,3 \dots 3$$

### 5.1.3 الأمان

$$\sigma_{Bavaith} = \frac{\sigma_B}{\sigma_{avaith}} \quad \text{الأمان المتوفر ضد الانهيار القسري، مقاومة الشد}$$

الأمان المتوفر ضد التشوه اللدن، حدود التمدد

$$\sigma_{S_{avaith}} = \frac{\sigma_S}{\sigma_{avaith}}$$

الأمان المتوفر ضد الانهيار الدائم

$$S_{D_{avaith}} = \frac{\sigma_A K \chi q}{\sigma_B \beta_K \phi}$$

### 6.1.3 المقاومة الدائمة

في الحمولة المتناوبة وظهور أعظم إجهاد في الشكل الخارجي وحالة السطح الخارجي والحزوز يعين الأمان  $v_0$  عند الإجهادات الدائمة.

$$F_{max} = F_v + F_a$$

$F_v$  قوة الشد الأولية

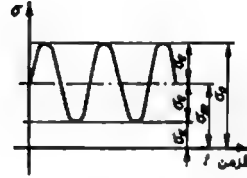
$$\sigma_o = \frac{F_v + F_a}{A} = \sigma_m + \sigma_a$$

$F_a$  قوة الاهتزاز، تتراوح بين + و -

$$\sigma_u = \frac{F_v - F_a}{A} = \sigma_m - \sigma_a$$

$$\sigma_m = \frac{F_v}{A} = \frac{\sigma_o + \sigma_u}{2}$$

$$\sigma_u = \frac{F_a}{A} = \frac{\sigma_o - \sigma_u}{2}$$



الشكل 176

$v_{D_{avaith}}$  الأمان المتوفر ضد الانهيار الدائم

$$v_{D_{avaith}} = \frac{\sigma_{form}}{\sigma_a}$$

$$\sigma_a = \sigma_n$$

$\sigma_a$  إزاحة الإجهاد الاسمي

$$\left( \frac{F_a}{A}, \frac{M_b}{W}, \frac{M_t}{W_t} \right)$$

إزاحة مقاومة الهيكل

$$\sigma_{form} = \frac{\sigma_A K \chi q}{\beta_K \phi}$$

$$\sigma_{A_{red}} = \sigma_A K \chi q$$

الإجهاد المختزل للمقاومة الدائمة

$$\sigma_{ak} = \sigma_a \beta_K \phi$$

إزاحة الإجهاد في عمق الحز



$$S_{D_{avai}} = \frac{\sigma_{Ared}}{\sigma_{ak}}$$

$$S_{D_{avai}} = \frac{\sigma_A K x q}{\sigma_a \beta_k \varphi}$$

$\sigma_A$  إزاحة إجهاد المقاومة الدائمة للإجهاد الوسطي المعطى  $\sigma_m$  من مخطط المقاومة الدائمة.

$K$  عامل تأثير القيم

$k$  عامل المساحة

$q$  عامل المقطع، من أجل المقطع الدائري  $q = 1$

$\varphi$  عامل الصدم

$$\beta_k = c(\beta_{k0} - 1) + 1$$

$\beta_k$  عامل تأثير الحز

$$\beta_k = 1 + (\alpha_K - 1) \eta_K$$

$\alpha_K$  عامل الشكل

$\eta_K$  عامل حساسية الحز

$$S_{D_{avai}} = \frac{\sigma_A k x q}{\sigma_{sk ges}}$$

الأمان المتوفر عند تأثير الإجهاد

$$\sigma_{ak tot} = (\sigma_{ax} \beta_{kz} + \sigma_{ab} \beta_{kb}) \varphi$$

إزاحة الإجهاد في عمق الحز أثناء إجهاد الانعطاف والشد

$$\sigma_{ak tot} = \varphi \sqrt{(\sigma_{ab} \beta_{kb})^2 + (\tau_{at} \beta_{kt})^2}$$

مقارنة الإجهاد حسب مبدأ العمل الافتراضي عند الانعطاف والقتل في عمق الحز

$$S_{D_{avai}} = \sqrt{\frac{v_b^2 v_t^2}{v_b^2 + v_t^2}}$$

عند تأثير الإجهادات المركبة يمكن تحديد عام الأمان من عوامل الأمان المختلفة  $v_b$  و  $v_t$

### 2.3 إجهادات الضغط والشد وحيدة المحور

إجهاد الضغط أو الشد المطبق (+ للشد، - للضغط)

$$\sigma_{z,d} = \pm \frac{F}{A}$$

تغير الطول لجسم هرمي ثابت المقطع

$$\Delta l = \frac{Fl}{AE}$$

تغير الطول بتغير المقطع  $A(x)$

$$\Delta l = \frac{F}{E} \int_0^l \frac{dx}{A(x)}$$

تغير الطول تبعاً لتغير طفيف في درجة الحرارة،

وقيم  $\alpha$  تؤخذ من الجدول (I) قسم الفيزياء.

$$\sigma_t = \alpha_t E \Delta t$$

الإجهادات الحرارية عند منع تغيرات الطول الحرارية

$$F = A \alpha_t E \Delta t$$

القوة الداخلية عند منع تغيرات الطول الحرارية

$$l_{\text{crit}} = \frac{\sigma_{\text{alla}}}{\rho g}$$

طول تحميل قضيب جانز ثابت المقطع عندما  $F = 0$

حيث  $\rho$  كثافة المادة،  $g$  التسارع الأرضي

$$l_{\text{reiB}} = \frac{\sigma_B}{\rho g}$$

طول تشقق الجانز بثبوت المقطع  $F = 0$

$$\sigma(x) = \frac{F}{A} + \frac{F_G(x)}{A} = \frac{F}{A} + \rho g x$$

$\sigma(x)$  إجهاد الشد في الموقع  $x$  مع اعتبار الوزن

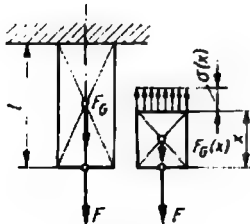
الذاتي (الشكل 177)

$$\sigma_{\text{max}} = \frac{F + F_G}{A} = \frac{F}{A} + \rho g l$$

$\sigma_{\text{max}}$  إجهاد الشد الأعظمي مع اعتبار الوزن الذاتي

$\rho$  كثافة القضيب

$g$  التسارع



الشكل 177

### 3.3 ضغط السطوح

ضغط سطح التلامس المستوي  $p = \frac{F}{A}$

ضغط السطح الوسطي عند سطوح التلامس المقوسة، مثلاً خابور،  $l$  طول الخابور،  $d$  القطر  $p = \frac{F}{dl}$

الإجهاد في جسم مثقوب، ضغط السطح الوسطي عندما يكون لدينا ضغط مزدوج، مثلاً، روابط البراغي  $\sigma_1 = \frac{F}{ds}$

ضغط السطوح بين السطوح المقوسة حسب هرتز (Hertz)

تطبق على الضغط بين  
 $p_{\max} = 0.3883 \sqrt{\frac{FE^2}{r^2}}$   
 (أ) كرة بنصف قطر  $r$  و سطح مستوي.

(ب) كرة بنصف قطر  $r_1$  مع كرة بنصف قطر  $r_2$

تطبق على الضغط بين  
 $p_{\max} = 0.418 \sqrt{\frac{FE}{lr}}$   
 (أ) أسطوانة ذات قطر  $r$  و سطح مستوي

(ب) أسطوانة ذات قطر  $r_1$  وأسطوانة ذات قطر  $r_2$

$l$  طول التلامس بين الأسطوانتين  
 $r = \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2}$

$r$  القطر الحسابي لأنصاف أقطار مختلفة

$E$  مودول المرونة الحسابي لمواد مختلفة  
 $E = \frac{2E_1 E_2}{E_1 + E_2}$

### 3.4 مقاومة القص

$\tau_a = \frac{F}{A}$   $\tau_a \leq \tau_{a \max}$  إجهاد القص

$$\tau_{aB} = \frac{F_{max}}{A} \approx 0.8\sigma_B$$

$\tau_{aB}$  مقاومة القص

في تصميم الآلات يمكن الحساب

$$\tau_{aalla} = \frac{\sigma_s}{1.5}$$

للحمل الساكن

$$\tau_{aalla} = \frac{\sigma_s}{2.2}$$

للحمل المتأرجح

$$\tau_{aalla} = \frac{\sigma_s}{3}$$

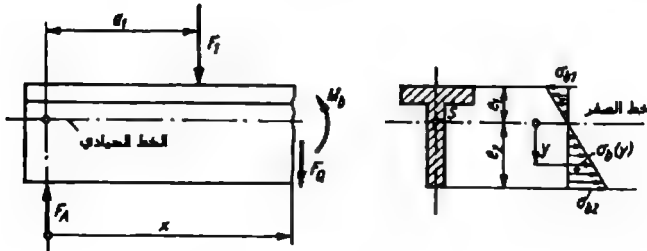
للحمل المتناوب

### 5.3 الانعطاف

#### 1.5.3 انعطاف الجوائز المستقيمة

فرضيات حساب إجهادات الانعطاف

1. المقطع المتناظر.
2. تؤثر القوى الخارجية باتجاه خط تناظر المقطع.
3. إن المقاطع العرضية تكون صغيرة بالمقارنة مع طول الجائز لذا يمكن إهمال إجهاد الانسحاب.
4. تحتفظ المقاطع العرضية بميكلمها المستوي.
5. يطبق قانون Hook على المادة عند التحميل.



الشكل 178

$\sigma_b(y) = \frac{M_b}{I} y$  إجهاد الانعطاف على بعد  $y$  من خط الصفر  
(الخط الحيادي) (انظر الشكل 178)

$\sigma_{b1} = -\frac{M_b}{I} e_1 = -\frac{M_b}{W_1}$  إجهاد الطرف العلوي، لعزم الانعطاف الموجب

إجهاد ضغط الانعطاف الأعظمي بـ  $\sigma_{b1} \leq \sigma_{d \text{ alla}}$

$\sigma_{b2} = +\frac{M_b}{I} e_2 = +\frac{M_b}{W_2}$  إجهاد الطرف السفلي، لعزم الانعطاف الموجب

إجهاد ضغط الانعطاف الأعظمي بـ  $\sigma_{b2} \leq \sigma_{z \text{ alla}}$

$\sigma_{b \max} = \frac{|M_b|}{W} \leq \sigma_{b \text{ alla}}$  نطبق من أجل  $e = e_{\max}$  وكذلك  $W = W_{\min}$

$\sigma_{b \text{ alla}}$

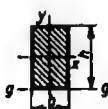
$W = \frac{I}{e}$  عزم المقاومة  $\text{cm}^3$   
عزم العطالة  $\text{cm}^4$

$W_{\text{erf}} \geq \frac{|M_b|}{\sigma_{b \text{ alla}}}$  عزم المقاومة المطلوب  $\text{cm}^3$



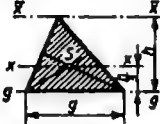


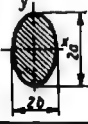
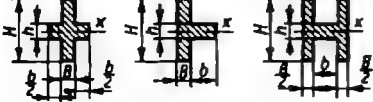
عزوم مقاومة وعطالة المساحات

(انظر أيضاً تطبيقات حساب التكامل)

الجدول 15 محوري<sup>1</sup> عزوم المقاومة والعطالة للمقاطع البسيطة

المقطع	عزوم العطالة	عزوم المقاومة
	$I_x = \frac{bh^3}{12}$	$W_x = \frac{bh^2}{6}$
	$I_y = \frac{hb^3}{12}$	$W_y = \frac{hb^2}{6}$
	$I_g = \frac{bh^3}{3}$	

<sup>1</sup> تعرف أيضاً بعزوم المقاومة والعطالة القطبية

المقطع	عزوم العطالة	عزوم المقاومة
	$I_x = I_y = \frac{a^4}{12}$	$W_x = W_y = \frac{a^3}{6}$
	$I_x = I_y = \frac{a^4}{12}$	$W_x = W_y = 0.118a^3$
	$I_x = \frac{gh^3}{36}$ $I_{\bar{x}} = \frac{gh^3}{4}$ $I_g = \frac{bh^3}{12}$	$W_x = \frac{gh^2}{24}$ من أجل $e = \frac{2}{3}h$
	$I_x = I_y = \frac{\pi}{64}d^4$ $= \frac{\pi}{4}r^4$	$W_x = W_y = \frac{\pi}{32}d^3$ $= \frac{\pi}{4}r^3$
	$I_x = I_y$ $= \frac{\pi}{64}(d_a^4 - d_i^4)$	$W_x = W_y$ $= \frac{\pi}{32} \frac{d_a^4 - d_i^4}{d_a}$
	من أجل $s \ll d$ $I_x = I_y \approx \frac{\pi}{8}sd_m^3$	من أجل $s \ll d$ $W_x = W_y \approx \frac{\pi}{4}sd_m^2$
	$I_x = \frac{\pi}{4}a^3b$ $I_y = \frac{\pi}{4}ab^3$	$W_x = \frac{\pi}{4}a^2b$ $W_y = \frac{\pi}{4}ab^2$
		$I_x = \frac{BH^3 + bh^3}{12}$ $W_x = \frac{BH^3 + bh^3}{6H}$

المقطع	عزوم العطالة	عزوم المقاومة
		$I_x = \frac{BH^3 - bh^3}{12}$ $W_x = \frac{BH^3 - bh^3}{6H}$
		$I_x = \frac{1}{3} (Bc_1^3 - bh^3 + ac_2^3)$ $c_1 = \frac{1}{2} \frac{aH^2 + ba^2}{aH + ba}$ $c_2 = H - c_1$

### قانون Steiner

$$I_n = I_s + Aa^2$$



الشكل 179

$I_n$  عزوم العطالة بالنسبة للمحور n مقاس بالوحدة  $cm^4$

$I_s$  عزوم العطالة بالنسبة للمحور s المار من مركز الثقل والموازي للمحور n.

A المساحة مقاس بالوحدة  $cm^2$

a البعد بين المحور s والمحور n مقاس بالوحدة cm

$$I_n = I_{n1} \pm I_{n2} \pm I_{n3} \pm \dots$$

إن عزوم عطالة المساحات المستقلة يمكن أن تضاف أو تطرح لعزم العطالة للمساحة الكلية، عندما تحسب كلها بالنسبة لمحور مشترك.

مثال: تحديد عزوم العطالة  $I_x$  لمقطع ذو مساحات متعددة حسب الشكل (180)

1. طريقة أولى

$$I_s = I_1 + A_1a_1^2 + I_2 + A_2a_2^2 + I_3 + A_3a_3^2$$

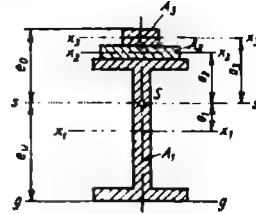
$I_1, I_2, I_3$  عزوم عطالة المساحات المستقلة بالنسبة للمحور S المواز والواقع على محور مركز الثقل نفسه، انظر

الشكل 180

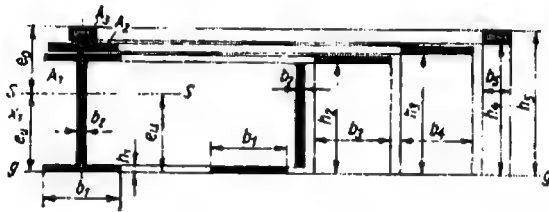
2. طريقة ثانية (قارن الشكل 181)

$$I_g = \frac{1}{3}b_1h_1^3 + b_2(h_2^3 - h_1^3) \\ + b_3(h_3^3 - h_2^3) \\ + b_4(h_4^3 - h_3^3) \\ + b_5(h_5^3 - h_4^3)$$

$$I_s = I_g - Ac_u$$



الشكل 180



الشكل 181

$$I_p = I_x + I_y$$

إن عزم العطالة القطبي  $I_p$  يساوي إلى مجموع  
كلا عزمي العطالة المحوريين، والمتعامدين

تحديد عزوم العطالة الرئيسية

$$I_{xy} = -\int_A xy dA$$

عزم الطرد المركزي بالنسبة للمحورين  $x, y$

$I_{xy} = 0$  للمحور الرئيسي أو عندما يكون  
محور متناظر مع الآخر

$$I_{xy} = I_{\bar{x}\bar{y}} - x_s y_s A$$

قانون Steiner لعزوم العطالة للمحاور  $x, y$

(الشكل 182)



$$I_{I,II} = I_{\max} = \frac{I_x + I_y}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{(I_x - I_y)^2 + 4I_{xy}^2}$$

إن  $I_I$  و  $I_{II}$  عزوم العطالة الرئيسية التي تكون فيها محاور العطالة  $I$  و  $II$  الرئيسية عمودية على بعضها هي العزم التابذي المركزي ويساوي الصفر.

$$I_p = I_x + I_y = I_I + I_{II}$$

معادلة التأكد لفحص القيم  $I_I$  و  $I_{II}$

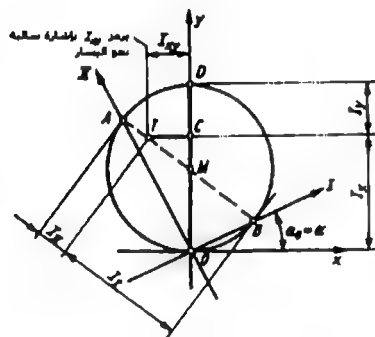
$$I_I I_{II} = I_x I_y - I_{xy}^2$$

$$\tan 2\alpha = \frac{2I_{xy}}{I_x - I_y}$$

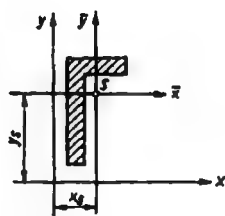
$\alpha$  الزاوية بين المحور  $x$  والمحور الرئيسي، ويمكن أن يكون  $I$  أو  $II$

$$\tan \alpha_0 = \frac{I_{\max} - I_x}{I_{xy}}$$

$\alpha_0$  زاوية الاتجاه للمحور  $x$  عكس المحور  $I$  الموجب



الشكل 183



الشكل 182

يتم التمثيل التخطيطي لعزوم العطالة الرئيسية وموقع محاور العطالة الرئيسية بدائرة العطالة من Mohr (الشكل 183)

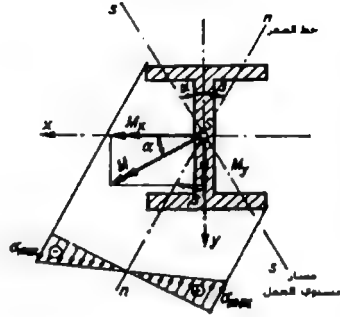
### 2.5.3 الانعطاف ثنائي المحور - الانعطاف المائل

(a) المقاطع المضاعفة المتناظرة مع غلاف مستطيل (الشكل 184)

$$\sigma_{\max} = \pm(\sigma_{bx} + \sigma_{by})$$

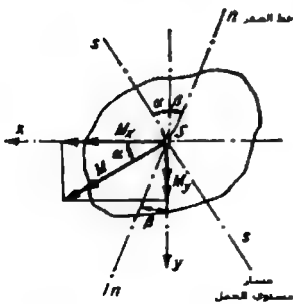
$$\sigma_{\max} = \pm \frac{|M_x|}{W_x} + \frac{|M_y|}{W_y}$$

تطبق هذه العلاقات للمقاطع الزاوية المفرغة والمصمتة وللجوائز على شكل I. تؤثر  $\sigma_{\max}$  في زوايا الغلاف المستطيل الذي يأخذ أبعد مسافة عن خط الصفر.

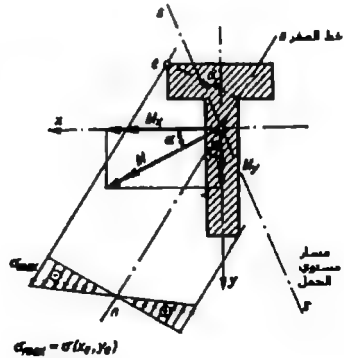


الشكل 184

(b) المحاور  $x$  و  $y$  هما محاور العطالة الرئيسية (الشكل 185)



الشكل 186



الشكل 185

$$M_x = M \cos \alpha$$

تكون العزوم  $M_x$  و  $M_y$  موجبة، عندما تتوجه

$$M_y = M \sin \alpha$$

أسهم العزوم (قاعدة اليد اليمنى) بالاتجاه الموجب للمحور  $x$  أو  $y$

$$\sigma(x, y) = \frac{M_x}{I_x} y - \frac{M_y}{I_y} x$$

$\sigma(x, y)$ ، إجهاد الانعطاف في النقطة  $P(x, y)$  للمقطع

إن الإجهادات الأعظمية تظهر في نقاط المقطع التي تكون في أقصى بعد من خط الصفر

$$\sigma(x, y) = M \left( \frac{\cos \alpha}{I_x} y - \frac{\sin \alpha}{I_y} x \right)$$

معادلة خط الصفر - الإجهاد

$$y = \frac{I_x}{I_y} \tan \alpha x$$

$$\tan \beta = \frac{x}{y} = \frac{I_y}{I_x} \cot \alpha$$

زاوية خط الصفر مع المحور  $y$

(c) إن المحوران  $x$  و  $y$  ليسا محاور عطالة أساسية

1. إن  $I_1$  و  $I_{11}$  هما غير معلومتان كعزوم عطالة رئيسية

$$\sigma(x, y) = \frac{M_x I_{xy} - M_y I_x}{I_x I_y - I_{xy}^2} x$$

$\sigma(x, y)$  هما توزيع الجهد عبر المقطع

$$+ \frac{M_x I_y - M_y I_{xy}}{I_x I_y - I_{xy}^2} y$$

$$y = \frac{I_x \tan \alpha - I_{xy}}{I_y - I_{xy} \tan \alpha} = \cot \beta x$$

معادلة خط الصفر

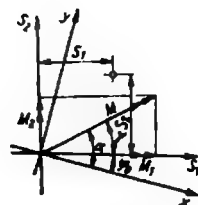
2.  $I_1$  و  $I_{11}$  عزوم عطالة رئيسية و  $\varphi_0$  معالم

$$\gamma = \alpha - \varphi_0$$

$$M_1 = M \cos \gamma$$

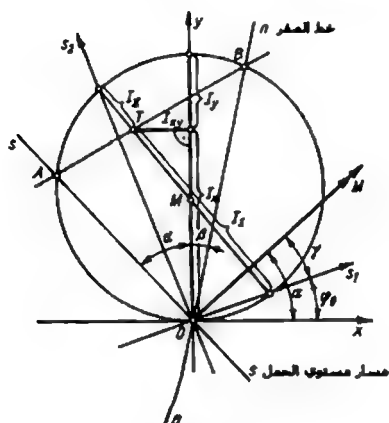
$$M_2 = M \sin \gamma$$

$$\sigma(s_1, s_2) = \frac{M_1}{I_I} s_2 - \frac{M_2}{I_{II}} s_1$$



الشكل 187

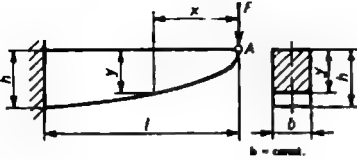
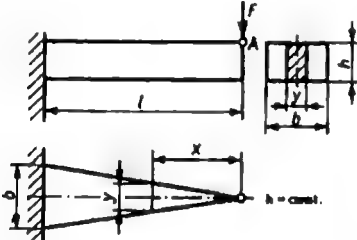
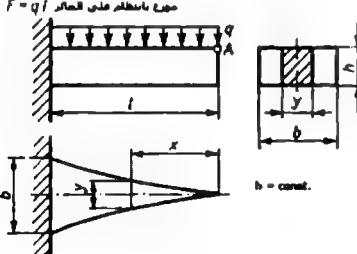
تعيين خط الصفر تخطيطياً حسب Mohr - الشكل 188



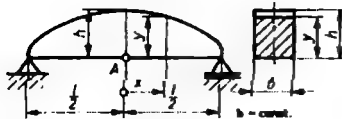
الشكل 188

يمثل شعاع العزم حسب الاتجاه. من خلال OA ينطلق من مسار مستوي الحمل، الذي يكون عمودياً على M من A وخلال النقطة الرئيسية للعزم T يسحب خط، بعد ذلك نحصل على B. إن اتجاه OB هو موقع خط الصفر.

### 3.5.3 الجوانز ذات إجهاد الانعطاف التساوي

شكل الجانز الحمل F في نهاية الجانز	أبعاد المقطع التدلي في النقطة A
	$y = \sqrt{\frac{6F}{b\sigma_{balla}}} x = h\sqrt{\frac{x}{l}}$ $h = \sqrt{\frac{6F}{b\sigma_{balla}}} l$ $f = \frac{8Fl^3}{bEh^3}$
	$y = \frac{6F}{h^2\sigma_{balla}} x = \frac{b}{l} x$ $b = \frac{6Fl}{h^2\sigma_{balla}}$ $f = \frac{6Fl^3}{bEh^3}$
<p><math>F = ql</math> موزع بانتظام على الجانز</p> 	$y = \frac{3F}{h^2\sigma_{balla}} \frac{x^2}{l} = b \frac{x^2}{l^2}$ $b = \frac{3Fl}{h^2\sigma_{balla}}$ $f = \frac{3Fl^3}{bEh^3}$

حزمة بالانحناء على الجائز  $f = q/l$

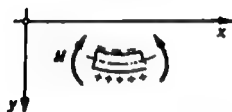


$$\frac{x^2}{\frac{l^2}{2}} + \frac{y^2}{h^2} = 1$$

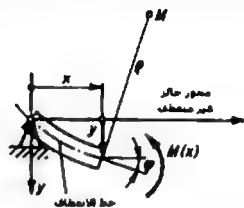
$$h = \sqrt{\frac{3Fl}{4b\sigma_{b\text{alla}}}}$$

$$f = \frac{3}{16} \frac{Fl^3}{bEh^3}$$

### 4.5.3 تغيرات شكل الجوائز المنعطفة (الجهدة بالانعطاف)



الشكل 190



الشكل 189

$$k = -\frac{1}{\rho} = -\frac{M_b}{EI}$$

$$y'' = \frac{d^2y}{dx^2} = -\frac{M_b}{EI}$$

$$y' = \int y'' dx = -\int \frac{M_b}{EI} dx + C_1$$

$$y = -\int \left( \int \frac{M_b}{EI} dx \right) dx + C_1 x + C_2$$

انحناء خط الانعطاف

المعادلة التفاضلية لخط الانعطاف

التكامل الأول يعطي زاوية ميل خط الانعطاف ( $\varphi \approx \tan \varphi \approx y'$ )

التكامل الثاني يعطي تدلي y في الموقع x من الجائز

تحدد ثوابت التكامل  $C_1$  و  $C_2$  من الشروط الابتدائية. ويتم حساب العزوم بمساعدة مبدأ القطع.

إن العزوم في الشكل (190) هي إيجابية، وتولد في أطراف الجائز، في الاتجاه  $y$  الموجب إجهادات شد.

تغيرات الشكل أثناء الانعطاف حسب *Castigliano*

$$W_F = \frac{1}{E} \int_0^l \frac{M_b^2}{2I} dx \quad \text{عمل تغيرات الشكل أثناء الانعطاف}$$

$$y_n = \frac{\partial W_F}{\partial F_n} \quad \text{إن الانسحاب في اتجاه وفي موقع القوى الخارجية}$$

$$y_n = \frac{1}{E} \int_0^l \frac{M_b}{I} \frac{\partial M_b}{\partial F_n} dx \quad F_n \text{ يساوي المشتق الجزئي لتغير شكل العمل للقوة}$$

$F_n$  في حال عدم تأثير أية قوة خارجية في الموقع،  
يمكن تعويض قوة مساعدة  $F_0 = 0$

$$\varphi_n = \frac{\partial W_F}{\partial M_n} \quad \text{إن دوران } \varphi_n \text{ باتجاه عزم خارجي } M_n \text{ يساوي}$$

$$\varphi_n = \frac{1}{E} \int_0^l \frac{M_b}{I} \frac{\partial M_b}{\partial M_n} dx \quad \text{المشتق الجزئي لتغير شكل العمل للعزم } M_n \text{ في}$$

حال عدم تأثير أي عزم في الموقع. يمكن تعويض  
عزم مساعد  $M_0 = 0$

$$y_B = \frac{\partial W_F}{\partial F_B} = 0 \quad \text{معادلة تعيين قوة المضجع المجهولة الستاتيكية } F_B$$

$$0 = \int_0^l \frac{M_b}{I} \frac{\partial M_b}{\partial F_B} dx$$

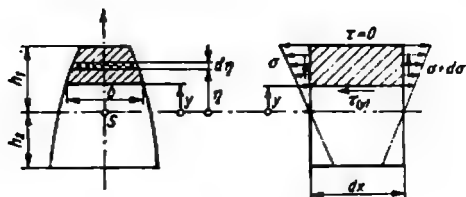
$$\varphi_B = \frac{\partial W_F}{\partial M_B} = 0 \quad \text{معادلة تعيين عزم الإجهاد المجهول الستاتيكي } M_B$$

$$0 = \int_0^l \frac{M_b}{I} \frac{\partial M_b}{\partial M_B} dx$$

### 5.3 عزم وتدلي الانعطاف للجوائز ثابتة المقطع

#### 6.5.3 إجهادات الانسحاب أثناء الانعطاف

$$\tau(y) = \frac{F_Q S(y)}{I b(y)} \quad \tau(y) \text{ إجهاد الانسحاب } y \text{ في المقطع الشاقولي والأفقي}$$



الشكل 191

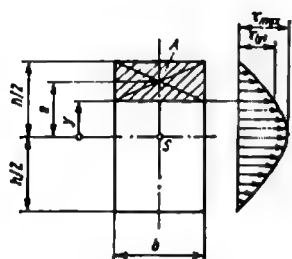
$$S(y) = \int_y^{h/2} \eta dA$$

$S(y)$  العزم الستاتيكي للمقطع الواقع فوق  $y$  (المظلل) بالنسبة لخط الصفر.

$F_Q$  القوة العرضية في المقطع المطلوب.

$I$  عزم العطالة للمقطع الكلي، بالنسبة لخط الصفر.

$b(y)$  عرض المقطع على بعد  $y$  من خط الصفر



الشكل 192

$$S(y) = \int_y^{h/2} \eta dA = Aa$$

العزم الستاتيكي للمساحة المستطيلة حسب الشكل (192)

$$S(y) = \frac{1}{2} \left( \frac{h}{2} - y \right) \left( \frac{h}{2} + y \right) b$$

$$\tau(y) = \frac{3 F_Q}{2 bh} \left[ 1 - \left( \frac{2y}{h} \right)^2 \right]$$

إجهاد الانزياح على بعد  $y$  من المقطع المستطيل (الشكل 192)

$$\tau_{\max} = \frac{3 F_Q}{2 A}$$

أكبر إجهاد انزياح في المقطع المستطيل  $y = 0$  (الشكل 192)

$$\tau_{\max} = \frac{4 F_Q}{3 A}$$

أكبر إجهاد انزياح في المقطع الدائري

$$\tau_{\max} = 2 \frac{F_Q}{A}$$

أكبر إجهاد انزياح في المقطع الدائري الحلقي



$$\tau_{ave} = \frac{FQ}{A_{St}}$$

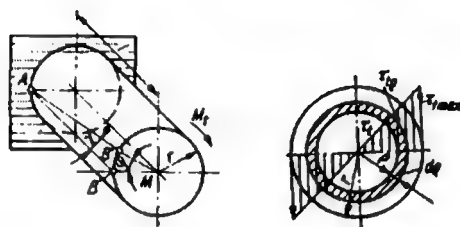
إجهاد الانزياح الوسطي في شق أحد المقاطع على شكل 1 في الشقوق الضيقة يمكن تعويض

$$\tau_{ave} \approx \tau_{max}$$

مساحة الشق  $A_{St}$

### 6.3 إجهاد الفتل للقضبان الهرمية

#### 1.6.3 قضبان الفتل ذات المقطع الدائري



الشكل 193

$$\tau_{ip} = \frac{\rho}{r} \tau_{tmax}$$

$\tau_{ip}$  إجهاد الفتل عند نصف القطر  $\rho$

$$\tau_{tmax} = \frac{M_t}{W_p}$$

$\tau_{tmax} \leq \tau_{talla}$  إجهاد الفتل الأعظمي

$$W_p = \frac{I_p}{r}$$

$W_p$  عزم المقاومة القطبي ،  $I_p$  عزم العطالة القطبي

$$d_{req} = \sqrt[3]{\frac{16}{\pi} \frac{M_t}{\tau_{talla}}} \approx \sqrt[3]{5 \frac{M_t}{\tau_{talla}}}$$

$d_{req}$  قطر المحور المطلوب لمقطع دائري مصمت

$$* d_{erf} = 163 \sqrt[3]{\frac{P}{n}}$$

الصيغة المستخرجة لمقطع دائري مصمت

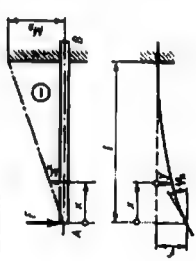
$d_{erf}$	P	n
cm	kW	$\frac{1}{min}$

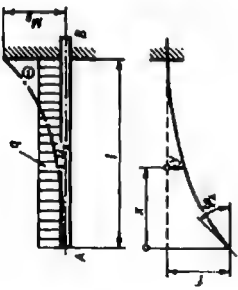
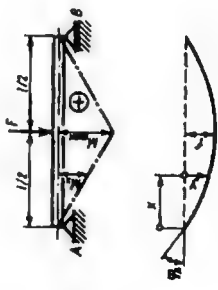
$$\tau_{talla} = 120 \frac{kp}{cm^2} = 11.8 \frac{N}{mm^2}$$

## عزوم وخطوط الانحناء (التدلي) للحوائل ثابتة المقطع

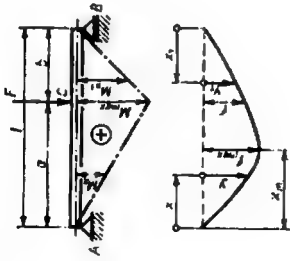
$M_x$	عزم الانعطاف	مقاس بالوحدة N cm في الموقع x في نقطة التغير لخط الانعطاف تكون $M = 0$ .
$x, y$	إحداثيات نقطة خط الانعطاف	مقاسة بالوحدة cm
$y$	التدلي في الموقع x	مقاس بالوحدة cm
$f$	تدلي تحت الحمل النفر F	مقاس بالوحدة cm
$f_{max}$	التدلي الأعظمي	مقاس بالوحدة cm
$\varphi = \varphi'$	زاوية الانعطاف	مقاسة بالوحدة rad (قياس القوس)
$I$	عزم عطالة المقطع	مقاس بالوحدة $cm^4$
$W_{\sigma T}$	عزم المقاومة المطلوب	مقاس بالوحدة $cm^3$
$\sigma_{balle}$	الإجهاد المسموح به	$N/cm^2$

### 1. الجوانب المقررة مستاتيكا

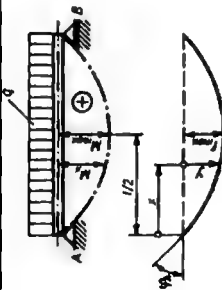
معادلة خط الانعطاف التدلي	قوى المضاجع، عزوم الانعطاف	
$y = \frac{F l^3}{3EI} \left( 1 - \frac{3}{2} \frac{x}{l} + \frac{1}{2} \frac{x^3}{l^3} \right)$ $f_{max} = f = \frac{F l^3}{3EI}$ $\varphi_A = \frac{F l^2}{2EI} = \frac{3f}{2l}$	$F_B = F$ $M_B = M_{max} = F l$ $M_x = F_x$ $W_{req} = \frac{F l}{\sigma_{balle}}$	



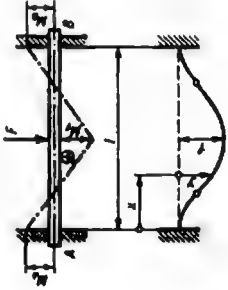
1. الجوانب القوية متباينة		
	قوى المضامع، عزوم الانعطاف	معادلة خط الانعطاف التدي
	<p>المحملة</p> $F = q \cdot l$ $F_B = q \cdot l$ $M_B = M_{\max} = \frac{q \cdot l^2}{2}$ $M_x = \frac{q x^2}{2}$ $W_{\text{crf}} = \frac{q \cdot l^2}{2 \sigma_{\text{b zul}}}$	$y = \frac{q \cdot l^4}{8EI} \left( 1 - \frac{4x}{3} + \frac{x^4}{3l^3} \right)$ $f = f_{\max} = \frac{q \cdot l^4}{8EI}$ $\varphi_A = \frac{q \cdot l^3}{6EI} = \frac{4}{3} \frac{f}{l}$
	$F_A = F_B = \frac{F}{2}$ $M_{\max} = \frac{F \cdot l}{4}$ $M_x = \frac{F}{2} \cdot x$ $W_{\text{crf}} = \frac{F \cdot l}{4 \sigma_{\text{b zul}}}$	$y = \frac{F \cdot l^3}{16EI} \left( x - \frac{4}{3} \frac{x^4}{l^3} \right)$ $f = f_{\max} = \frac{F \cdot l^3}{48EI}$ $\varphi_A = \varphi_B = \frac{F \cdot l^2}{16EI} = \frac{3f}{l}$

## 1. الجوائز القوية متناهيًا

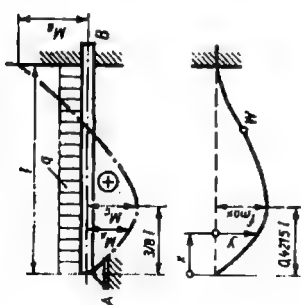
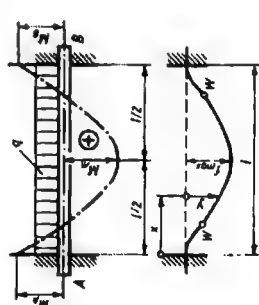
	قوى المضاجع، عزوم الانعطاف	معادلة خط الانعطاف التبدلي
	$F_A = \frac{Fb}{l}$ $F_B = \frac{Fa}{l}$ $M_x = \frac{Fbx}{l} \quad \text{من أجل AC}$ $M_{x1} = \frac{Fax_1}{l} \quad \text{من أجل BC}$ $M_{\max} = \frac{Fab}{l}$ $W_{\text{req}} = \frac{Fab}{l\sigma_{\text{alla}}}$	$y = \frac{F l^3}{6EI} \frac{a^2 x}{l^2} \frac{x}{l} + \frac{l}{b} \frac{x^2}{ab}$ $y_1 = \frac{F l^3}{6EI} \frac{b a^2}{l^2} \frac{x_1}{l} + \frac{l}{a} \frac{x_1^2}{ab}$ $f = \frac{F l^3}{3EI} \frac{a^2 b^2}{l^2}$ $f_{\max} = f \frac{l+b}{3b} \sqrt{\frac{l+b}{3a}}$ <p>عندما <math>a &gt; b</math> تصبح <math>x_m</math> عند</p> $x_m = a \sqrt{\frac{l+b}{3a}}$ <p>من أجل <math>a &lt; b</math> يجب تبديل <math>a</math> و <math>b</math> كما في <math>x_1, x</math></p>

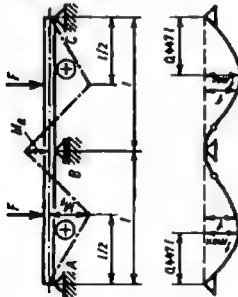
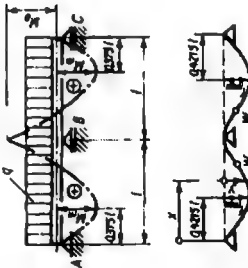
## 1. الجوائز المقررة ستاتيكيًا

	قوى المضامع، عزوم الانعطاف	معادلة خط الانعطاف التدي
	<p>الحمالة الكلية <math>F = ql</math></p> <p><math>F_A = F_B = \frac{ql}{2}</math></p> <p><math>M_{max} = \frac{ql^2}{8}</math></p> <p><math>M_x = \frac{ql}{2} x \left(1 - \frac{x}{l}\right)</math></p> <p><math>W_{req} = \frac{ql^2}{8\sigma_{baila}}</math></p>	<p><math>y = \frac{ql^4}{24EI} \left[ \frac{x}{l^3} + \frac{x^3}{l^4} \right]</math></p> <p><math>f_{max} = \frac{5ql^4}{384EI}</math></p> <p><math>\varphi_A = \varphi_B = \frac{ql^3}{24EI} = \frac{16f}{5l}</math></p>

2. الجوائز غير القررة ستاتيكيًا		
	قوى المضاجع، عزوم الانعطاف	معادلة خط الانعطاف، التبدلي
 	$F_A = \frac{5}{16} F$ $F_B = \frac{11}{16} F$ $M_F = \frac{5}{32} Fl$ $M_{\max} = M_B = \frac{3}{16} Fl$ $W_{\text{crit}} = \frac{3}{16} \frac{Fl}{\sigma_{\text{balla}}}$	$f = \frac{7}{768} \frac{Fl^3}{EI}$ $f_{\max} = \frac{1}{\sqrt{548}} \frac{Fl^3}{EI}$
	$F_A = F_B = \frac{F}{2}$ $M_A = M_B = \frac{Fl}{8}$ $M_F = \frac{Fl}{8}$ $M_{\max} = \frac{Fl}{8}$ $W_{\text{req}} = \frac{Fl}{8\sigma_{\text{balla}}}$	$y = \frac{Fl^3}{16EI} \frac{x^2}{l^2} - \frac{4x^3}{3l^3}$ $f = f_{\max} = \frac{1}{192} \frac{Fl^3}{EI}$

## 2. الجوانز غير المقورة ستاتيكيًا

	قوى المضاجع، عزوم الانعطاف	معادلة خط الانعطاف، التدلي
	<p>الحمولة الكلية <math>q/l</math></p> $F = \frac{3}{8}ql$ $F_A = \frac{5}{8}ql$ $M_{\max} = M_B = \frac{ql^2}{8}$ $M_C = \frac{9}{128}ql^2$ $W_{\text{req}} = \frac{ql^2}{8\sigma_{\text{balla}}}$	$y = \frac{ql^3 x}{48EI} - \frac{1}{3} \frac{x^2}{l^2} + 2 \frac{x^3}{l^3}$ $f_{\max} = \frac{ql^4}{185EI}$
	<p>الحمولة الكلية <math>q/l</math></p> $F_A = F_B = q \frac{1}{2}$ $M_{\max} = M_A = M_B = -\frac{ql^2}{12}$ $M_m = \frac{ql^2}{24}$ $W_{\text{req}} = \frac{ql^2}{12\sigma_{\text{balla}}}$	$y = \frac{1}{24} \frac{ql^2 x^2}{EI} - \frac{1}{2} \frac{x}{l} + \frac{x^2}{l^2}$ $f_{\max} = \frac{1}{384} \frac{ql^4}{EI}$

2. الجوائز غير المقررة ستاتيكيًا		
	قوى المضاجع، عزوم الانعطاف	معادلة خط الانعطاف، التدلي
	$F_A = F_C = \frac{5}{16} F$ $F_B = \frac{11}{8} F$ $M_{\max} = M_B = \frac{3}{16} Fl$ $M_r = \frac{5}{32} Fl$ $W_{\text{req}} = \frac{3Fl}{16\sigma_{\text{باله}}}$	$f = \frac{7}{768} \frac{Fl^3}{EI}$ $f_{\max} = \frac{1}{\sqrt{548}} \frac{Fl^3}{EI}$
	<p>الحمولة الكلية <math>F = 2ql</math></p> $F_A = F_C = \frac{3}{8} ql$ $F_B = \frac{5}{4} ql$ $M_{\max} = M_B = \frac{ql^2}{8}$ $M_m = \frac{q}{128} ql^2$ <p>الحد الأقصى النسبي</p>	<p>من لحظة <math>x</math></p> $y = \frac{ql^3}{48EI} x - \frac{1}{3} \frac{x^2}{l^2} + 2 \frac{x^3}{l^3}$ $f_{\max} = \frac{ql^4}{185EI}$



العلاقة بين عزم الدوران، الاستطاعة وعدد الدورات

$$M_t = \frac{P}{\omega} = \frac{P}{2\pi n}$$

$$* M_t = 9550 \frac{P}{n}$$

$$* M_t = 97400 \frac{P}{n}$$

$M_t$	$P$	$n$
Nm	kW	$\frac{1}{\text{min}}$

$M_t$	$P$	$n$
kpcm	kW	$\frac{1}{\text{min}}$

زاوية الفتل للمقطع الدائري

$$\varphi = \frac{M_t l}{GI_p}$$

زاوية الفتل مقاسة بالواحدة rad (قياس القوس)

$$\varphi = \frac{180^\circ}{\pi} \frac{M_t l}{GI_p}$$

زاوية الفتل مقاسة بالواحدة grad

$$\varphi = \frac{180^\circ}{\pi} \frac{M_t}{G} \sum \frac{l}{I_p}$$

زاوية الفتل بالدرجات للمحاور

$$\theta = \frac{\varphi}{l}$$

زاوية الفتل النسبية

$$d_{\text{erf}} = \sqrt[4]{\frac{32 \times 180}{\pi^2} \frac{M_t l}{G \varphi_{\text{alla}}}}$$

قطر المحور المطلوب لمقطع دائري مصمت عند

زاوية فتل مسموح بها  $\varphi_{\text{alla}}$

$$* d_{\text{ref}} = 13 \sqrt[4]{\frac{P}{n}}$$

الصيغة المستخرجة لمحور فولاذي  $\varphi_{\text{alla}} = 1/4^\circ$

لكل 100 cm طول المحور

$d_{\text{erf}}$	$P$	$n$
cm	kW	$\frac{1}{\text{min}}$

G مودول الانزلاق

$I_p$  عزم العطالة القطبي

### 2.6.3 قضبان الفتل ذات المقطع غير الدائري







$$\tau_{t \max} = \frac{M_t}{W_t}$$

$W_t$  مقاومة الفتل

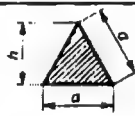

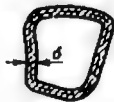
$$\varphi = \frac{M_t l}{GI_t}$$

$I_t$  عزم عطالة الفتل

الجدول 16. عزوم المقاومة والعطالة ضد الفتل للمقاطع البسيطة

المقطع	عزم العطالة ضد الفتل	عزم المقاومة ضد الفتل
	$I_p = \frac{\pi}{32} d^4 \approx \frac{d^4}{10}$	$W_p = \frac{\pi}{16} d^3 \approx \frac{d^3}{5}$
	$I_p = \frac{\pi}{32} (d_a^4 - d_i^4)$	$W_p = \frac{\pi}{16} \frac{d_a^4 - d_i^4}{d_a}$
	من أجل $s \ll d_m$	من أجل $s \ll d_m$
	$I_p = \frac{\pi}{4} s d_m^3$	$W_p = \frac{\pi}{2} s d_m^2$
	$I_t = \frac{\pi a^3 b^3}{a^2 + b^2}$	$W_t = \frac{\pi}{2} a b^2$ $\tau_{t1} = \frac{M_t}{W_t}$ عند المواقع 1 $\tau_{t2} = \frac{b}{a} \tau_{t1}$ عند المواقع 2
	$I_t = 0.141 a^4$	$W_t = 0.208 a^3$ في وسط الأضلاع
	$I_t = c_3 h b^3$	$W_t = c_2 h b^2$ $\tau_{t1} = \frac{M_t}{W_t}$

المقطع			عزم العطالة ضد الفتل					عزم المقاومة ضد الفتل	
								عند المواقع 1	
								$\tau_{12} = c_1 \tau_{11}$	
								عند المواقع 2	
h/b	1	1.5	2	3	4	6	8	10	$\infty$
$c_1$	1.000	0.858	0.796	0.753	0.745	0.743	0.743	0.743	0.743
$c_2$	0.208	0.231	0.246	0.267	0.282	0.299	0.307	0.313	0.333
$c_3$	0.140	1.96	0.229	0.263	0.281	0.299	0.307	0.313	0.333

المقطع	عزم العطالة ضد الفتل	عزم المقاومة ضد الفتل
	$I_1 = \frac{a^4}{46.19} = \frac{h^4}{26}$	$W_1 = \frac{a^3}{20} = \frac{h^3}{13}$ <p><math>\tau_{1max}</math> في وسط الأضلاع</p>
	$I_1 = 0.533 \rho^2 A$ $= 1.847 \rho^4$	$W_1 = 0.4363 \rho A$ $= 1.511 \rho^3$ <p><math>\tau_{1max}</math> في وسط الأضلاع</p>
	$I_1 = 2(A_a + A_i)$ $\delta \frac{A_m}{L_m}$ <p>للجدران الرقيقة ذات المقطع المفرغ</p>	$W_1 = (A_a + A_i) \delta$ <p>للجدران الرقيقة ذات المقطع المفرغ</p> $W_1 = 2A_m \delta$

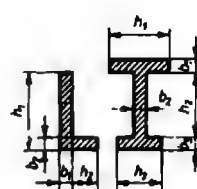
$A_a$  المساحة المحدودة بخط المحيط الخارجي

$A_i$  المساحة المحدودة بخط المحيط الداخلي

$A_m$  المساحة المحدودة بالخط الوسطي

$L_m$  طول الخط الوسطي

عند سماكات جدران مختلفة يمكن تعويض  $\delta_{min}$  بدلاً من  $\tau_{1 \max}$

$W_t = \frac{1}{3b_{\max}} \sum b_i^3 h_i$ <p>في وسط المستطيل مع <math>\tau_t</math></p>	$I_t = \frac{\eta}{3} \sum b_i^3 h_i$ <p>من أجل <math>b = \text{const.}</math></p> $I_t = \frac{b^3}{3} (\sum h - xb)$	<p>المقاطع ذات الجدران الرقيقة والتي لها شكل جوائز أسطوانية</p> 
--	--	---

	L	C	⊥	I	I'	+	⌒
$\eta$	0.99	1.12	1.12	1.31	1.29	1.17	
$x$	1.6	2.6	0.9	1.2	1.2	0.15	2.6

### 7.3 التحنيب

$$F_K = \sigma_K A$$

$F_K$  قوة التحنيب، الحمل الخارج

$$F_{alla} = \frac{F_K}{S_K} = \frac{\sigma_K A}{S_K}$$

$F_{alla}$  قوة التحنيب المسموح بها

$$\lambda = \frac{l_K}{i}$$

$\lambda$  درجة النحافة ،  $l_K$  طول التحنيب الحر

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

$i$  نصف قطر العطالة

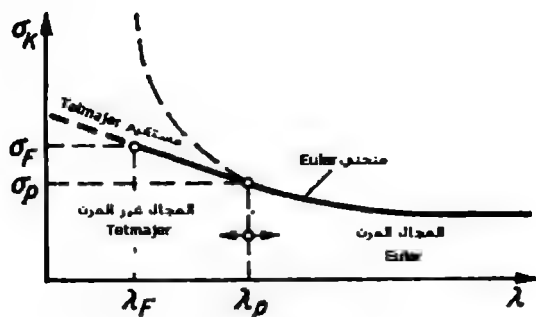
$$\lambda_p = \pi \sqrt{\frac{E}{|\sigma_p|}}$$

$I$  أصغر عزم عطالة للمقطع

$A$  مساحة المقطع

$\lambda_p$  حدود درجة النحافة في حدود النسيية (انظر الجدول 17 والشكل 194)

$\lambda_F$  حدود درجة النحافة في حدود السيلائن، (انظر الجدول 17 والشكل 194)



الشكل 194

الشكل 195 حالات التحميل للتحنيب حسب Euler

جائز موثوق من طرف وحر من الطرف الآخر	حالة أساسية كلا الطرفين قابلات للدوران	جائز موثوق من طرف وقابل للدوران من الطرف الآخر	جائز موثوق من طرف وموثوق من الطرف الآخر
$l_k = 2l$	$l_k = l$	$l_k = \frac{l}{2}$	$l_k = 0.5l$
$F_k = \frac{\pi^2 EI}{4l^2}$	$F_k = \frac{\pi^2 EI}{l^2}$	$F_k = \frac{2\pi^2 EI}{l^2}$	$F_k = \frac{4\pi^2 EI}{l^2}$

### 1.7.3 التحنيب المرن حسب Euler, $\lambda \geq \lambda_p$

$$F_K = \frac{\pi^2 EI}{l_K^2} \quad \text{قوة التحنيب في المجال المرن}$$

$$\sigma_K = \frac{F_K}{A} = \frac{\pi^2 EI}{l_K^2 A} \quad \text{إجهاد التحنيب في المجال المرن}$$

$$\sigma_K = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} \quad \text{منحني القطع لـ Euler مع } \lambda^2 = \frac{l_K^2 A}{I}$$

$$F_{alla} = \frac{F_K}{v_K} = \frac{\pi^2 EI}{v_K l_K^2} \quad \text{شكل التحميل}$$

$$v_{K \text{ avai}} = \frac{\pi^2 EI}{F l_K^2} \quad \text{الأمان المتوفر}$$

$$l_{req} = \frac{F l_K^2 v_K}{\pi^2 E} \quad \text{الصيغة المستخرجة لتعيين الأبعاد، ثم فحص } \lambda$$

من أجل  $\lambda \geq \lambda_p$  يكون الحساب حسب Euler مع أمان محدد مسبقاً صحيحاً.

من أجل  $\lambda < \lambda_p$  يتم الحساب  $\sigma_K$  حسب Termajer بأبعاد من الصيغة المستخرجة حسب Euler.

### 2.7.3 التحنيب غير المرن حسب Tetmajer, $\lambda_F < \lambda < \lambda_p$

إن الحسابات المطلوبة حسب Tetmajer غير ممكنة، يجب تحديد الأبعاد من الصيغة المستخرجة من Euler من أجل  $\lambda < \lambda_p$  فحص الإجهادات حسب Tetmajer.

الجدول 17. إجهادات التحنيب حسب Tetmajer ( $1 \text{ MPa} \approx 10 \text{ kp/cm}^2$ )

$\lambda_p$	$\lambda_F$	إجهاد التحنيب $\sigma_K$ — MPa	المادة
105	60	* $\sigma_K = 310 - 1.14\lambda$	فولاذ St 38
89	50	* $\sigma_K = 335 - 0.62\lambda$	فولاذ St 42 ... 50
110	60	* $\sigma_K = 589 - 3.82\lambda$	فولاذ St 52

$\lambda_p$	$\lambda_r$	إجهاد التحنيب $\sigma_K$ — MPa	المادة
86	0	* $\sigma_K = 470 - 2.3\lambda$	فولاذ النيكل 5%
80	0	* $\sigma_K = 776 - 12\lambda + 0.053\lambda^2$	فولاذ صب رمادي
100	18	* $\sigma_K = 29.3 - 1.19\lambda$	خشب

$$\sigma_{davi} = \frac{F}{A}$$

$$S_{Kavai} = \frac{\sigma_K A}{F} = \frac{\sigma_K}{\sigma_{davi}}$$

مراقبة الأمان المطبق

من أجل

$$S_{Kavi} = \frac{\sigma_K}{\sigma_{davi}} < S_{Kreq}$$

يكون تحديد أكبر مقطع جديد مطلوباً، مع مراقبة نهائية للأمان حتى

$$S_{Kavi} = \frac{\sigma_K}{\sigma_{davi}} \geq S_{Kreq}$$

### 3.7.3 طريقة Omega

من أجل الأبنية الفولاذية (أبنية عالية، بناء الجسور، بناء الباكر)، التعليمات القانونية تتطلب الحساب للقضبان المضغوطة حسب طريقة  $\omega$ .

$$\sigma_\omega = \omega \frac{F}{A}$$

F قوة الضغط، الحمل المطبق

$$\sigma_\omega \leq \sigma_{dall}$$

A مساحة المقطع

$\omega$  عامل التحنيب، يستخرج من الجداول، كنابع لدرجة النحافة والمادة

### 3.8 المقاومة المركبة

#### 1.8.3 الإجهادات ذات النوع التماثل

تجمع الإجهادات ذات النوع التماثل جبرياً، عندما تؤثر بنفس الاتجاه، وتجمع هندسياً عندما لا تكون بنفس الاتجاه. مثلاً:

$\sigma_r = \sigma \pm \sigma_b$  الإجهادات الطبيعية (الاسمية)

$\tau_r = \tau_s \pm \tau_t$  إجهادات القص

الانعطاف مع قوة طولية

$\sigma_{r_{\max}} = \frac{F}{A} \pm \frac{M_b}{W}$  الإجهادات الجانبية الناتجة عن الشد والانعطاف

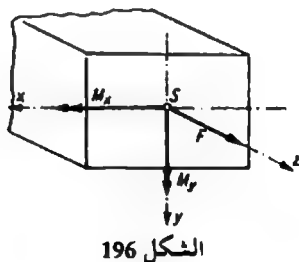
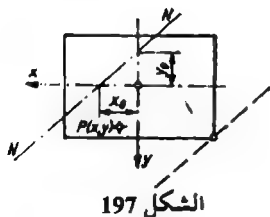
$\sigma_{r_{\min}} = \frac{F}{A} \mp \frac{M_b}{W}$  الإجهادات الجانبية الناتجة عن الضغط والانعطاف،  
F تكون سالبة أثناء الضغط

$s = \frac{W}{A}$  بعد النواة لتعين مقطع النواة أثناء الضغط غير الوسطي

الانعطاف ثنائي المحور مع قوة طولية، x و y هما المحاور الرئيسية

$\sigma(x, y) = \frac{F}{A} + \frac{M_x}{I_x} y - \frac{M_y}{I_y} x$  الإجهاد في النقطة P(x, y)

$\sigma_{\max}$  تظهر في نقاط المقطع التي تقع على أكبر بعد  
من خط الصفر (انظر الشكل 197)



$$y = \frac{M_y}{M_x} \frac{I_x}{I_y} x - \frac{F}{A} \frac{I_x}{M_x}$$

معادلة خط الصفر



مقاطع المحاور لحظ الصفـر (شكل 197)

$$x_0 = \frac{F}{A} \frac{I_y}{M_y}$$

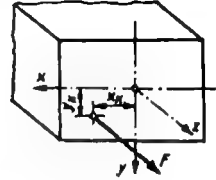
$$y_0 = -\frac{F}{A} \frac{I_x}{M_x}$$

يطبق من أجل قوة طولية غير وسطية حسب الشكل (198)

$$M_x = Fy_K$$

$$M_y = -Fx_K$$

$$\sigma(x, y) = \frac{F}{A} + \frac{Fy_K}{I_x} y + \frac{Fx_K}{I_y} x$$



الشكل 198

$$y = -\frac{I_x}{I_y} \frac{x_K}{y_K} x - \frac{F}{A} \frac{I_x}{y_K}$$

معادلة خط الصفـر

### 2.8.3 الإجهادات غير المتماثلة - الإجهادات الناعمية والماسية

أثناء التحميل بنفس اللحظة من خلال الإجهادات الناعمية والماسية، يحدد إجهاد المقارنة  $\sigma_v$  حسب الفرضيات التالية

$$\sigma_v \leq \sigma_{alla}$$

العلاقة لإثبات الإجهاد

$$\sigma_v = 0.35\sigma + 0.65\sqrt{\sigma^2 + 4(\alpha_0\tau)^2}$$

فرضية التمدد تحتم نتائج قابلة للاستخدام في المواد القصيفة

$$\alpha_0 = \frac{\sigma_{alla}}{1.3\tau_{alla}}$$

نسبة الجهود

$$\sigma_{v,mohr} = \sqrt{\sigma^2 + 4(\alpha_0\tau)^2}$$

فرضية إجهاد القص مخصصة للمواد القاسية وتعطي غالباً قيم أعلى من فرضية تغيير هيئة الطاقة المستخدمة ونكون على طرف الأمان

$$\alpha_0 = \frac{\sigma_{alla}}{2\tau_{alla}}$$

$$\sigma_{v,form} = \sqrt{\sigma^2 + 3(\alpha_0 \tau)^2}$$

فرضية تغيير شكل الطاقة، تطبق بشكل

$$\alpha_0 = \frac{\sigma_{balla}}{1.73\tau_{balla}}$$

أفضل على المواد القاسية (فولاذ).

تطبيق نظرية تغيير شكل الطاقة على المحاور المجهدة بالانحناف والفتل:

$$\sigma_{v,form} = \sqrt{\left(\frac{M_b}{W}\right)^2 + 3\left(\alpha_0 \frac{M_t}{W_p}\right)^2}$$

$$\sigma_{v,form} = \frac{1}{W} \sqrt{M_b^2 + 0.75(\alpha_0 M_t)^2} = \frac{M_{v,Gest}}{W} \leq \sigma_{bzul}$$

$$M_{v,form} = \sqrt{M_b^2 + 0.75(\alpha_0 M_t)^2}$$

$$d_{req} = \sqrt[3]{\frac{32}{\pi} \frac{M_{v,form}}{\sigma_{balla}}}$$

الصيغة المستخرجة التي تعطي الأمان

ضد الانهيار في المواقع الخطرة.

$$\approx \sqrt[3]{\frac{10 M_{v,form}}{\sigma_{balla}}}$$



# علم الحرارة الهندسي

T	درجة الحرارة المطلقة K
t	درجة الحرارة °C
p	الضغط $\text{Pa} = \text{N/m}^2$
V	حجم كمية من المادة $\text{m}^3$
$V_n$	الحجم في الشروط النظامية $\text{m}^3$ تحت $(t = 0^\circ\text{C}, p = 101.3 \text{ kPa})$
m	الكتلة (كمية المادة) kg
z	الكمية المولية (كمية المادة) kmol
M	الكتلة المولية بـ $\text{kg/kmol}$
g	تسارع الجاذبية الأرضية $\text{m/s}^2$
v	الحجم النوعي $\text{m}^3/\text{kg}$
$v_n$	الحجم النوعي في الشروط النظامية $\text{m}^3/\text{kg}$
$\bar{v}$	الحجم المولي $\text{m}^3/\text{kmol}$
$\bar{v}_n$	الحجم المولي في الشروط النظامية
$\rho$	الكثافة $\text{kg/m}^3$
$\rho_n$	كثافة الغاز في الشروط النظامية $\text{kg/m}^3$
Q	كمية الحرارة kJ
c	السعة الحرارية النوعية $\text{kJ/kg K}$
$c_p$	السعة الحرارية النوعية بثبوت الضغط $\text{kJ/kg K}$
$c_v$	السعة الحرارية النوعية بثبوت الحجم $\text{kJ/kg K}$
$\bar{c}$	السعة الحرارية المولية $\text{kJ/kmol K}$

R	ثابت الغازات العام	kJ/kg K
$\bar{R}$	ثابت الغازات المولي	kJ/kmol K 8.314
x	أس الأزنتروبي يساوي نسب السعات الحرارية النوعية	Cp/Pv
n	أس البوليتروبي	
W	عمل التغير الفراغي	kJ
$W_i$	العمل الهندسي	kJ
U	الطاقة الداخلية	kJ
H	الانتالي	kJ
S	الانتروبي	kJ/K

## 1. تعاريف أساسية

### 1.1 قيم الحالة الحرارية والواحدات

#### الحرارة

$*T = t + 273$	T درجة الحرارة المطلقة	K
$*T = \frac{5}{9}T_R$	$T_R$ درجة الحرارة	$^{\circ}R$
$*T_R = t_F + 459.7$	t درجة الحرارة	$^{\circ}C$
$*t = \frac{5}{9}(t_F - 32)$	$t_F$ درجة الحرارة بالمهرفهايت	$^{\circ}F$
$*t = \frac{5}{9}T_R - 273$	Kelvin	K
	$^{\circ}C$ درجة مئوية	
	Fahrenheit	F
	Rankine	R

## الضغط ووحداته

$$p = \frac{F}{A}$$

p الضغط

F القوة الناعمية

A المساحة

واحدات الضغط، انظر بحث القيم والواحدات

ضغط عمود من السائل

$$p = h\rho g$$

h ارتفاع عمود السائل m

$\rho$  كثافة السائل  $\text{kg/m}^3$  انظر الجدول 6 (الفيزياء)

تخفيض عمود السائل  $h_1$  بدرجة حرارة  $t$  على الشاشة

عند درجة حرارة  $(0^\circ\text{C})$

$$h_0 = h_1 - \gamma h_1 t$$

$h_0$  ارتفاع عمود السائل عند درجة حرارة  $0^\circ\text{C}$

$h_1$  ارتفاع عمود السائل عند درجة حرارة  $1^\circ\text{C}$

$\gamma$  عامل التمدد الفراغي للسائل. انظر الجدول 2 (الفيزياء)

الضغط المطلق، الضغط المرتفع والمنخفض

يعرف الضغط المطلق عادةً، بأنه الضغط  $p$  الناتج عن تأثير القوة الناعمية على واحدة السطح.

يقاس الضغط المرتفع أو المنخفض بالمقارنة مع الضغط النسبي المسيطر (غالباً ضغط الهواء).

$$p_{\text{ü}} = p - p_L$$

$p_{\text{ü}}$  الضغط المرتفع ( $p > p_L$ )

$$p_{\text{u}} = p_L - p$$

$p_{\text{u}}$  الضغط المنخفض ( $p < p_L$ )

يجب تمييز الضغط المرتفع والضغط المنخفض دوماً، بهذا

التعبير ضغط مرتفع وضغط منخفض

$$V_a = \frac{P_u}{P_L} 100\%$$

$V_a$  الضغط المنخفض النسبي بـ % التخلخل

الكثافة، الحجم النوعي

$$\rho = \frac{m}{V}$$

الكثافة

$$v = \frac{V}{m}$$

الحجم النوعي

$$v = \frac{1}{\rho}$$

العلاقة بين الكثافة والحجم النوعي

الكثافة، الحجم النوعي، والحجم المولي، في الشروط النظامية

( $0^\circ \text{C}$  و  $101.3 \text{ kPa}$ )

$$\rho_n = \frac{m}{V_n}$$

$V_n$  الحجم في الشروط النظامية

$$\rho_n = \frac{M}{\bar{V}_n} = \frac{M \text{ kmol}}{22.4 \text{ m}^3}$$

$\bar{V}_n$  الحجم المولي في الشروط النظامية

$$v_n = \frac{V_n}{m}$$

إن قيمة  $\bar{V}_n = 22.4 \text{ m}^3 / \text{kmol}$  لجميع الغازات المثالية

$$v_n = \frac{\bar{V}_n}{M} = \frac{22.4 \text{ m}^3}{M \text{ kmol}}$$

$M$  الكتلة المولية في  $\text{kg/kmol}$  (انظر الجدول 18)

$$v_n = \frac{1}{\rho_n}$$

الكتلة، الكتلة المولية، والحجم المولي

$$m = \rho_n V_n$$

العلاقة بين الكتلة  $\text{kg}$  والكتلة المولية  $M$

$$m = zM$$

بـ  $\text{kg/kmol}$

$$V = z\bar{V} = \frac{m}{M}\bar{V}$$

العلاقة بين الحجم  $V$  بـ  $\text{m}^3$  والحجم المولي  $\bar{V}$  بـ  $\text{m}^3/\text{kmol}$

المولية  $\bar{V}$  بـ  $\text{m}^3/\text{kmol}$

$z$  كمية المول ( $\text{kmol}$ )

## 2.1 الحرارة والسعة الحرارية النوعية

$$Q = c_m m (t_2 - t_1)$$

$c_m$  السعة الحرارية النوعية الوسطية للمواد السائلة والصلبة، انظر الجدول 3 (الفيزياء)، للغازات (الجدول 18، 19)

$$Q = \bar{c}_m z (t_2 - t_1)$$

انتبه، بأنه يجب التمييز في الغازات بين  $c_v$  السعة الحرارية النوعية عند ضغط ثابت و  $c_p$  السعة الحرارية النوعية عند حجم ثابت.

$$Q = m \left[ c_m \Big|_0^{t_2} t_2 - c_m \Big|_0^{t_1} t_1 \right]$$

$$\bar{c}_m = M c_m$$

العلاقة بين السعة الحرارية المولية  $\text{kJ/kmol K}$  والسعة الحرارية النوعية  $\text{kJ/kg K}$

### السعة الحرارية النوعية الوسطية

تتعلق السعة الحرارية النوعية بدرجة الحرارة، ويمكن إهمال تأثيرها بشكل عام أثناء الحسابات الهندسية حتى  $200^\circ\text{C}$ .

$$c_m \Big|_{t_1}^{t_2} \text{ السعة الحرارية النوعية المتوسطة بين}$$

درجة الحرارة  $t_1$  و  $t_2$

$$c_m \Big|_{t_1}^{t_2} = \frac{c_m \Big|_0^{t_2} t_2 - c_m \Big|_0^{t_1} t_1}{t_2 - t_1}$$

$$c_m \Big|_0^{t_2} \text{ السعة الحرارية النوعية المتوسطة بين}$$

درجة الحرارة  $0^\circ\text{C}$  و  $t_2$ <sup>1</sup>

$$c_m \Big|_0^{t_1} \text{ السعة الحرارية النوعية المتوسطة بين}$$

درجة الحرارة  $0^\circ\text{C}$  و  $t_1$ <sup>1</sup>

<sup>1</sup> انظر الجدول 19 من أجل قيم  $c_m \Big|_0^t$



### السعة الحرارية C

$$C = mc$$

تعرف السعة الحرارية لجسم أو مادة ما C وتقدر بـ  $\text{KJ/K}$  بأنها الحرارة المكتسبة عند ارتفاع درجة حرارة الجسم أو المادة درجة مئوية واحدة.

$$t_m = \frac{c_1 m_1 t_1 + c_2 m_2 t_2 + c_3 m_3 t_3 + \dots}{c_1 m_1 + c_2 m_2 + c_3 m_3 + \dots}$$

$t_m$  درجة حرارة المزيج (درجة حرارة التوازن) عند التلامس الداخلي دون أن تطرح أو تكتسب الحرارة من الخارج، وتحدث تحولات كيميائية.

### العلاقة بين $c_p$ و $c_v$

$$x = \frac{c_p}{c_v} = \frac{\bar{c}_p}{\bar{c}_v}$$

R ثابت الغازات النوعي بـ  $\text{kJ/kg K}$  (انظر الجدول 18)

$$R = c_p - c_v = c_v (x - 1)$$

$$\bar{R} = 8.314 \text{ kJ/kmol K}$$

$$\bar{R} = \bar{c}_p - \bar{c}_v = \bar{c}_v (x - 1)$$

x تتعلق بدرجة الحرارة، يمكن لدرجة حرارة المحيط أن تبلغ حتى  $200^\circ\text{C}$ :

$$x = 1 + \frac{R}{c_v} = 1 + \frac{\bar{R}}{\bar{c}_v}$$

$x = 1.67$  للغازات أحادية الذرة (He, Ar, Kr)

$$c_p = \frac{xR}{x-1}$$

$x = 1.41$  للغازات ثنائية الذرة ( $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2$ ) (هواء)

$$c_v = \frac{R}{x-1}$$

$x = 1.33$  للغازات ثلاثية الذرة ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{SO}_2$ )

عند درجات الحرارة المرتفعة تُعين x من القوانين المرفقة

الجدول 18 : خواص الغازات الهندسية

نوع الغاز	M	R	$\rho_n$	$c_p$	$c_v$
	الكتلة المولية kg/kmol	ثابت الغاز العام kJ/(kg K)	الكثافة عند الشروط النظامية kg/m <sup>3</sup>	السعة الحرارية النوعية عند ضغط ثابت kJ/(kg K)	السعة الحرارية النوعية عند حجم ثابت kJ/(kg K)
هواء ( $O_2 + N_2$ )	(28.96)	0.287	1.293	1.004	0.715
هيدروجين $H_2$	2.01	4.124	0.090	14.38	10.26
أكسجين $O_2$	32	0.260	1.429	0.908	0.649
أزوت $N_2$	28.01	0.297	1.250	1.039	0.743
أول أكسيد الكربون CO	28.01	0.297	1.250	1.039	0.742
ثاني أكسيد الكربون $CO_2$	44.01	0.189	1.977	0.821	0.632
هيليوم He	4.00	2.077	0.178	5.238	3.161
أرغون Ar	39.94	0.208	1.783	0.532	0.322
النشادر $NH_3$	17.03	0.488	0.771	2.219	1.717
ميثان $CH_4$	16.03	0.518	0.717	2.223	1.700
بخار الماء $H_2O$	18.0	0.462	0.804	1.858	1.397

الجدول 19 : السعة الحرارية النوعية الوسطية  $c_{pm}$

عند ضغط ثابت للغازات المثالية kJ/(kg K)

t °C	هواء	$H_2$	$N_2$	$O_2$	CO	$CO_2$	$H_2O$
0	1.004	14.38	1.039	0.9084	1.039	0.8205	1.858
100	1.007	14.40	1.041	0.9218	1.041	0.8689	1.874
200	1.013	14.42	1.044	0.9355	1.046	0.9122	1.894
300	1.020	14.45	1.049	0.9500	1.054	0.9510	1.918
400	1.029	14.48	1.057	0.9646	1.064	0.9852	1.946
500	1.039	14.51	1.066	0.9791	1.075	1.016	1.976
600	1.050	14.55	1.076	0.9926	1.087	1.043	2.008
700	1.061	14.59	1.087	1.005	1.099	1.067	2.041

t °C	هواء	H <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O
800	1.072	14.64	1.098	1.016	1.110	1.089	2.074
900	1.082	14.71	1.108	1.026	1.121	1.109	2.108
1000	1.092	14.78	1.118	1.035	1.131	1.126	2.142
1200	1.109	14.94	1.137	1.051	1.150	1.157	2.208
1400	1.124	15.12	1.153	1.065	1.166	1.183	2.271
1600	1.138	15.30	1.168	1.077	1.180	1.206	2.331
1800	1.151	15.48	1.181	1.089	1.193	1.225	2.386
2000	1.162	15.65	1.192	1.099	1.204	1.241	2.437

$$\bar{c}_{pm} = \bar{c}_{pm} - \bar{R} \quad \bar{c}_{pm} = M c_{pm} \quad c_{vm} = c_{pm} - R \quad R \text{ و } M \text{ انظر الجدول 18}$$

### 3.1 معادلة الحالة الحرارية للغازات المثالية

$$p v = R T$$

معادلة الحالة الحرارية لكل 1 kg غاز

$$\frac{p_1 v_1}{T_1} = \frac{p_2 v_2}{T_2} = R$$

R ثابت الغازات العام K kJ/kg (انظر

الجدول 18)

$$p V = m R T$$

معادلة الحالة الحرارية لكمية الغاز m

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$$

مقاسة بالوحدة kg

$$p \bar{v} = \bar{R} T$$

معادلة الحالة العامة لكل 1 kmol غاز

$$\frac{p_1 \bar{v}_1}{T_1} = \frac{p_2 \bar{v}_2}{T_2} = \bar{R}$$

$$p V = z \bar{R} T$$

معادلة الحالة العامة لكمية الغاز z مقاسة

بالوحدة kmol

$$\bar{R} = M R$$

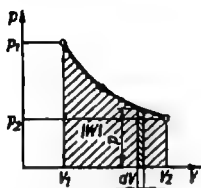
$$= 8.314 \text{ kJ / kmol K}$$

ثابت الغازات العام

## 4.1 عمل تغيير الحجم، العمل الهندسي، الطاقة الداخلية الانتالبي، الانتروبي، سحب الطاقة

### العمل بتغير الحجم $W$

$$W = - \int_{V_1}^{V_2} p dV$$



الشكل 199

عند تغير حجم غاز من  $V_1$  إلى  $V_2$ ، فإن العمل المبذول يوصف عمل تغير الحجم - أيضاً العمل الخارجي -.

إن عمل تغير الحجم في المخطط  $p - V$  هو المساحة المحصورة تحت المنحني، (انظر الشكل

199)

$W$  إيجابي عند عمل الانضغاط

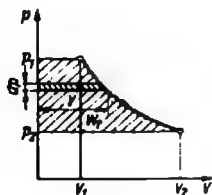
$W$  سلبي عند عمل التمدد

### العمل الهندسي $W_t$

$$W_t = \int_{p_2}^{p_1} V dp$$

إن العمل الهندسي الكلي لآلة والذي يتم داخل مجال تغير حالة المادة يوصف كعمل هندسي أو كعمل التشغيل.

$$W_t = W - p_1 V_1 + p_2 V_2$$



الشكل 200

يتشكل هذا العمل من عمل التعبئة  $p_1 V_1$  ومن عمل تغير الحجم  $W$  ومن عمل  $p_2 V_2$  (انظر الشكل 200)

$W_t$  إيجابي عند اكتساب العمل

$W_t$  سلبي عند طرح العمل

### الطاقة الداخلية U

$$U = c_{vm}mt$$

$$U(t=0) = 0$$

إن الطاقة الداخلية U للجسم v ذو درجة حرارة t هي الحرارة (الطاقة) التي تضاف للجسم وتعطيه عمل عندما ترتفع درجة حرارته من 0°C إلى t تحت حجم ثابت

### الانتالي H

$$H = U + pV$$

$$H = c_{pm}mt$$

$$H(t=0) = 0$$

إن الانتالي هو مجموع الطاقة الداخلية وعمل التغير pV

### الانتروبي S

$$ds = \frac{dQ}{T}$$

$$dS = \frac{dU + pdV}{T}$$

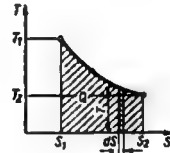
$$\Delta S = S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{dQ}{T}$$

$$\Delta S = f(p, V) = S_2 - S_1 = c_v m \ln \frac{p_2}{p_1} + c_p m \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$\Delta S = f(T, V) = S_2 - S_1 = c_v m \ln \frac{T_2}{T_1} + Rm \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$\Delta S = f(T, p) = S_2 - S_1 = c_p m \ln \frac{T_2}{T_1} + Rm \ln \frac{p_2}{p_1}$$

الانتروبي S هو قيم الحالة الحرارية، التي تتعلق باثنين من ثلاث قيم تغيير الحالة الحرارية v, T, p وتعرف من خلال التفاضل  $ds = \frac{dQ}{T}$



الشكل 201

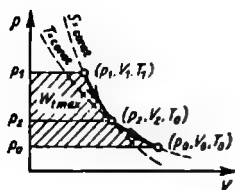
$$Q = \int_1^2 T dS$$

تظهر في المخطط T, S الحرارة المسحوبة أو المضافة وهي المساحة المحصورة تحت منحنى الحالة (انظر الشكل 201)

### سحب الطاقة E

$$E = H_1 - H_0 - T_0(S_1 - S_0)$$

إن الطاقة المسحوبة E - أيضاً قدرة العمل الهندسي - هي العمل الهندسي الأعظمي



الشكل 202

الذي يصنع بشكل مفيد من المادة.

تنتج القيمة عندما تضاف المادة بشكل ايزونتروبي على درجة حرارة الوسيط المحيطية  $T_0$  وبشكل ايزوترمي على ضغط الوسط المحيط  $p_0$ . انظر الشكل (202).

يصف الدليل 0 الحالة المحيطة، أما الدليل 1 فيصف الحالة الابتدائية.

### إضافة الطاقة B

$$B = H_0 + T_0 (S_1 - S_0)$$

$$B = H_1 - E$$

إن إضافة الطاقة B تميز قدر الطاقة (انتالي  $H_1$ ) لمادة والتي لا يمكن تمثيلها كطاقة مسحوبة (عمل هندسي)

## 2. مزج الغازات

نطبق قانون Dalton لمزج الغازات.

1. كل غاز من مزيج غازي يملأ الفراغ، كما لو كانت الغازات الأخرى غير موجودة.
2. كل غاز يؤثر فقط على جزء من الضغط الكلي للمزيج الغازي، الضغط الكلي يساوي لمجموع الضغوط الجزئية.
3. إن نصيب الضغط الجزئي لغاز على الضغط الكلي للمزيج يساوي نصيبه الفراغي.

$$p = \sum p_i = p_1 + p_2 + p_3 + \dots$$

$$V = \sum V_i = V_1 + V_2 + V_3 + \dots$$

$$m = \sum m_i = m_1 + m_2 + m_3 + \dots$$

$$z = \sum z_i = z_1 + z_2 + z_3 + \dots$$

$$pV_i = m_i R_i T$$

معادلة الحالة الحرارية لغاز وحيد قبل للمزج  
هي في حالة الفصل تأخذ جميع الغازات نفس  
الضغط  $p$  ونفس درجة الحرارة  $T$

$$p_i V = m_i R_i T$$

معادلة الحالة الحرارية لغاز وحيد بعد المزج هي

$$r_i = \frac{V_i}{V} = \frac{p_i}{p}$$

نصيب الفراغ لمركب غازي

$$\xi_i = \frac{m_i}{m}$$

نصيب الكتلة لمركب غازي

$$r_i = \frac{z_i}{z} = \frac{V_i}{V}$$

نصيب المولي لمركب غازي يتصرف كنصيب فراغي

$$\rho_m = \frac{m}{V} = \sum r_i \rho_i$$

كثافة المزيج الغازي

$$R_m = \sum \xi_i R_i$$

ثابت الغاز لمزيج غازي

$$M_m = \frac{8.314 \text{ kJ}}{R_m \text{ kmol K}} = \sum r_i M_i$$

الكتلة المولية الظاهرية لمزيج غازي

$$R_i M_i = R_m M_m = \bar{R}$$

$$c_p = \sum \xi_i c_{p_i}$$

السعة الحرارية النوعية لمزيج غازي

$$c_v = \sum \xi_i c_{v_i}$$

$$\xi_i = \frac{r_i \rho_i}{\rho_m} = r_i \frac{M_i}{M_m} = r_i \frac{R_m}{R_i}$$

العلاقة بين أجزاء الكتلة  $\xi_i$  وأجزاء الفراغ  $r_i$

$$r_i = \frac{\xi_i V_i}{V_m} = \xi_i \frac{\rho_m}{\rho_i} = \xi_i \frac{M_m}{M_i}$$

$$U_m = m \sum \xi_i u_i$$

الطاقة الداخلية لمزيج غازي

$$H_m = m \sum \xi_i h_i$$

انتالي المزيج الغازي

$$\Delta S_{\text{mix}} = \frac{pV}{T} \sum \frac{V_i}{V} \ln \frac{V}{V_i}$$

تغير الانتروبي أثناء عملية المزيج

$$\Delta S_{\text{mix}} = \sum m_i R_i \ln \frac{1}{r_i}$$

## 1.2 مزج الغازات تحت حجم غاز ثابت

$$p_i V_i = m_i R_i T_i$$

معادلة الحالة الحرارية لغاز وحيد قبل المزج

$$\bar{p}_i V = m_i R_i T$$

معادلة الحالة الحرارية لغاز وحيد بعد المزج

$$V = \sum V_i = V_1 + V_2 + V_3 + \dots$$

$V_i$  حجم غاز وحيد قبل المزج

$$p = \sum \bar{p}_i = \bar{p}_1 + \bar{p}_2 + \bar{p}_3 + \dots$$

$\bar{p}_i$  الضغط الجزئي لغاز وحيد بعد المزج

$p_i$  الضغط الجزئي لغاز وحيد قبل المزج

$$c_v m t = \sum c_{v,i} m_i t_i$$

تطبق لعملية المزج بدون تبادل للعمل والحرارة مع الوسط المحيط

$$T = \frac{\sum c_{v,i} m_i T_i}{\sum c_{v,i} m_i}$$

درجة حرارة المزيج

$$T = \frac{\sum p_i V_i}{\sum \frac{p_i V_i}{T_i}}$$

تطبق فقط، عندما تأخذ كل الغازات المنفردة نفس القيمة  $x_i$

$$R_m = \sum \xi_i R_i$$

ثابت المزيج الغازي

$$p = \frac{m R_m T}{V}$$

ضغط المزيج الغازي

$$p = \frac{T}{V} \sum \frac{p_i V_i}{T_i} = \frac{T}{V} \sum m_i R_i$$

## 2.2 مزج الغازات المتدفقة

$$m \left( h + \frac{w^2}{2} \right) = \sum m_i \left( h_i + \frac{w_i^2}{2} \right)$$

تطبق للمزيج الدائم الجريان بدون تبادل للعمل والحرارة مع الوسط الخارجي

$w$  سرعة تدفق المادة

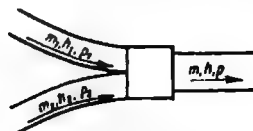


لأنه يمكن في أغلب العمليات الهندسية إهمال الطاقة الحركية بالمقارنة مع الانتالي،  
تطبق العلاقات التالية:

$$mh = \sum m_i h_i$$

$$h = \sum g_i h_i$$

$$c_p m t = \sum c_{pi} m_i t_i$$



الشكل 203

درجة حرارة المزيج الغازي

$$T = \frac{\sum c_{pi} m_i T_i}{\sum c_{pi} m_i}$$

$$T = \frac{\sum p_i V_i}{\sum \frac{p_i V_i}{T_i}}$$

تطبق فقط عندما تأخذ الغازات  
الوحيدة نفس القيمة  $x_i$

$$R_m = \sum \xi_i R_i$$

ثابت المزيج الغازي

$$V = \frac{m R_m T}{p}$$

حجم المزيج الغازي

$$V = \frac{T}{p} \sum \frac{p_i V_i}{T_i} = \frac{T}{V} \sum m_i R_i$$

انتبه  $\sum V_i \neq V$

### 3. القانون الأساسي الأول في الترموديناميك

يشق القانون الأساسي الأول في الترموديناميك من قانون حفظ الطاقة العام:

ولأجل نظام مغلق يطبق:

$Q$  إيجابية عند إضافة الحرارة

$$U_2 - U_1 = Q + W$$

$Q$  سلبية عند سحب الحرارة

$W$  إيجابية عند عمل الانضغاط

$W$  سلبية عند عمل التمدد

ومن أجل نظام مفتوح يطبق:

$$H_2 - H_1 = Q + W_i$$

$W_i$  إيجابية عند إضافة العمل

$W_i$  سلبية عند سحب العمل

#### 4. تغيرات الحالة للغازات المثالية

##### 1.4 ثبوت الحجم، $V = \text{const}$ (الشكل 204)

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{p_1}{p_2}$$

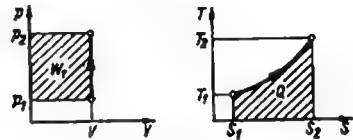
$$Q = c_{vm} m(t_2 - t_1)$$

$$Q = U_2 - U_1$$

$$W = 0$$

$$W_i = V(p_2 - p_1)$$

$$\Delta S = S_2 - S_1 = c_{vm} \ln \frac{T_2}{T_1} = c_{vm} \ln \frac{p_2}{p_1}$$



الشكل 204

##### 4.2 بثبوت الضغط، $p = \text{const}$ (الشكل 205)

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{V_1}{V_2}$$

$$Q = c_{pm} m(t_2 - t_1)$$

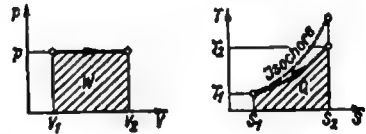
$$\Delta U = U_2 - U_1 = c_{vm} m(t_2 - t_1)$$

$$W = p(V_2 - V_1) = mR(T_2 - T_1)$$

$$W_i = 0$$

$$\Delta S = S_2 - S_1 = c_{pm} \ln \frac{T_2}{T_1} = c_{pm} \ln \frac{V_2}{V_1}$$

قانون Gay-Lussac



الشكل 205

### 3.4 بثبوت درجة الحرارة (اليزوترم) $t = \text{const}$ (الشكل 206)

$$pV = \text{const.}$$

قانون Boyle-Mariotte

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{V_2}{V_1}$$

$$Q = -W$$

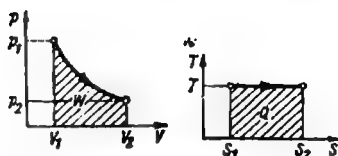
$$\Delta U = U_2 - U_1 = 0$$

$$W = p_1 V_1 \ln \frac{p_2}{p_1} = p_1 V_1 \ln \frac{V_1}{V_2}$$

$$W = mRT \ln \frac{p_2}{p_1} = mRT \ln \frac{V_1}{V_2}$$

$$W_t = W$$

$$\Delta S = S_2 - S_1 = mR \ln \frac{p_1}{p_2} = mR \ln \frac{V_2}{V_1}$$



الشكل 206

### 4.4 بثبوت كمية الحرارة $Q = 0, S = \text{const}$ (الشكل 207)

$$pV^x = \text{const.}$$

$$p_1 V_1^x = p_2 V_2^x$$

$$\frac{p_1}{p_2} = \left( \frac{V_2}{V_1} \right)^x \quad \frac{V_1}{V_2} = \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{1}{x}}$$

$$\frac{T_1}{T_2} = \left( \frac{V_2}{V_1} \right)^{x-1} = \left( \frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{x-1}{x}}$$

$$Q = 0$$

$$U_2 - U_1 = W$$

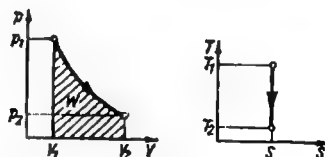
$$W_t = xW$$

$$W_t = m(h_2 - h_1) = c_p m (t_2 - t_1)$$

$$\Delta S = S_2 - S_1 = 0$$

$$W = \frac{mR}{x-1} (T_2 - T_1)$$

قانون Poisson



الشكل 207

$$W = c_v m (T_2 - T_1)$$

$$W = \frac{1}{x-1} (p_2 V_2 - p_1 V_1)$$

$$W = \frac{mRT_1}{x-1} \left[ \frac{T_2}{T_1} - 1 \right] = \frac{p_1 V_1}{x-1} \left[ \frac{T_2}{T_1} - 1 \right]$$

$$W = \frac{p_1 V_1}{x-1} \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{x-1}{x}} - 1 \right]$$

#### 5.4 متعدد التغيرات (البوليتروبي) (تغير الحالة العامة)

$$pV^n = \text{const.} \quad -\infty < n < +\infty$$

$$p_1 V_1^n = p_2 V_2^n$$

$$\frac{p_1}{p_2} = \left( \frac{V_2}{V_1} \right)^n \quad \frac{V_1}{V_2} = \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{1}{n}}$$

$$\frac{T_1}{T_2} = \left( \frac{V_2}{V_1} \right)^{n-1} = \left( \frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{n-1}{n}}$$

$$Q = cm(T_2 - T_1) = c_v \frac{x-n}{1-n} m(T_2 - T_1)$$

$$Q = \frac{n-x}{x-1} W$$

$$W_1 = nW$$

$$W = \frac{mR}{n-1} (T_2 - T_1)$$

$$W = c_v \frac{x-1}{n-1} m(T_2 - T_1)$$

$$W = \frac{1}{n-1} (p_2 V_2 - p_1 V_1)$$

$$W = \frac{mRT_1}{n-1} \left( \frac{T_2}{T_1} - 1 \right) = \frac{p_1 V_1}{n-1} \left( \frac{T_2}{T_1} - 1 \right)$$

$$W = \frac{p_1 V_1}{n-1} \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right]$$

$$\Delta S = S_2 - S_1 = cm \ln \frac{T_2}{T_1} = c_v \frac{x-n}{1-n} m \ln \frac{T_2}{T_1}$$

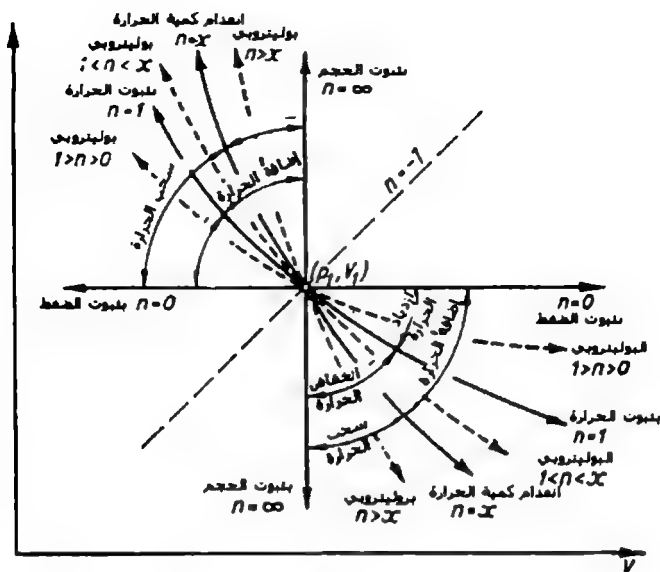
$$\Delta S = S_2 - S_1 = c_v m \ln \frac{p_2}{p_1} + c_p m \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$\Delta S = S_2 - S_1 = c_v m \ln \frac{T_2}{T_1} + Rm \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$\Delta S = S_2 - S_1 = c_p m \ln \frac{T_2}{T_1} - Rm \ln \frac{p_2}{p_1}$$

الجدول 20: توضيح تغيرات الحالة المختلفة كحالات خاصة لقوانين متعددة التغيرات العامة  $p V^n = \text{const}$  (قارن أيضاً الشكل 208)

كمية الحرارة Q	السعة الحرارية النوعية	الأس	نوع تغير الحالة
$c_v m (T_2 - T_1)$	$c_v$	$n = \infty$	$V = \text{const.}$ بثبات الحجم
$c_p m (T_2 - T_1)$	$c_p$	$n = 0$	$p = \text{const.}$ بثبات الضغط
$W$	$\pm \infty$	$n = 1$	$T = \text{const.}$ بثبات الحرارة
0	0	$n = x$	$Q = 0$ انعدام كمية الحرارة
$\frac{n-x}{x-1} W$	$c_v \frac{x-n}{1-n}$	$n$	البولتروبي



الشكل 208

## 5. القانون الأساسي الثاني في الترموديناميك

كل عملية طبيعية في نظام أدياتي مغلق تنتج تضخيم لمجموع الأنثروبي لجميع الأجسام المشتركة (المساهمة). فقط في الحالة الحدية لعملية عكوسية تبقى الأنثروبي ثابتة.

إن القانون الأساسي الثاني للدارات الترموديناميكية هو:

$$S_2 - S_1 = \oint ds \geq 0$$

من أجل الدارات غير العكوسة >

= من أجل الدارات العكوسة

لا يمكن انتقال الحرارة من تلقاء نفسها (دون تطبيق عمل) من جسم ذو درجة حرارة منخفضة إلى جسم ذو درجة حرارة مرتفعة. يمكن تحويل الحرارة فقط بشكل دوري إلى عمل عندما يكون هناك انخفاض في درجة الحرارة.

يمكن فقط بشكل جزئي تحويل الحرارة المضافة  $Q_{supp}$  من وعاء حراري I إلى عمل،  
في حين يطرح الجزء الآخر كحرارة مسحوبة  $Q_{loss}$  من وعاء حراري II.

## 6. الدارات

$$Q_{supp} + Q_{loss} + W = 0 \quad (Q_{supp} > 0 \text{ الحرارة المضافة (المكتسبة)})$$

$$-W = Q_{supp} + Q_{loss} \quad (Q_{loss} < 0 \text{ الحرارة المطرودة (المسحوبة)})$$

$$W = \oint dW = \oint dW_t \quad W \text{ عمل الدارة}$$

الدارات اليمينية لآلات القوى الحرارية (شكل 209)

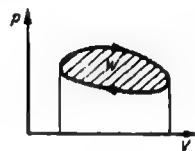
$$Q_{supp} + Q_{loss} > 0$$

$$W < 0$$

$$\eta_{th} = \frac{|W|}{Q_{supp}} = \frac{Q_{supp} + Q_{loss}}{Q_{supp}}$$

$$\eta_{th} = 1 + \frac{Q_{loss}}{Q_{supp}} = 1 - \frac{|Q_{loss}|}{Q_{supp}}$$

$\eta_{th}$  المردود الحراري

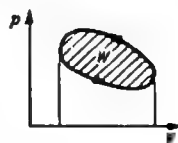


الشكل 209

الدارات اليسارية لآلات العمل (الشكل 210)

$$Q_{supp} + Q_{loss} < 0$$

$$W > 0$$



الشكل 210

## 1.6 دارة Carno (الشكل 211)

تتألف عملية دارة Carno من تغيرات الحالة التالية:

1-2 تمدد بثبوت درجة الحرارة عند درجة الحرارة  $T_1$

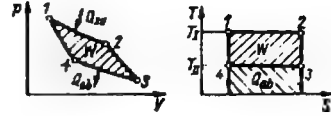
2-3 تمدد بثبوت كمية الحرارة

3-4 تكاثف بثبوت درجة الحرارة عند درجة الحرارة  $T_{II}$

4-1 تكاثف بثبوت كمية الحرارة

$$Q_{\text{supp}} = mRT_I \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$Q_{\text{loss}} = mRT_{II} \ln \frac{V_4}{V_3}$$



الشكل 211

$$\eta_{th} = \frac{|W|}{Q_I} = \frac{T_I - T_{II}}{T_I} = 1 - \frac{T_{II}}{T_I}$$

$$\frac{T_I}{T_{II}} = \left( \frac{V_3}{V_2} \right)^{\gamma-1} = \left( \frac{V_4}{V_1} \right)^{\gamma-1}$$

$$\frac{T_I}{T_{II}} = \left( \frac{p_2}{p_3} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = \left( \frac{p_1}{p_4} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{V_3}{V_4} = \frac{p_1}{p_2} = \frac{p_4}{p_3}$$

$$T_1 = T_2 = T_I$$

$$T_3 = T_4 = T_{II}$$

## 2.6 دورة Otto المثالية

تتكون دورة Otto المثالية من تغيرات الحالة التالية (انظر الشكل 212)

1-2 تكاثف بثبوت كمية الحرارة

2-3 إضافة كمية الحرارة  $Q_{\text{supp}}$  بثبوت الحجم

3-4 التمدد بثبوت كمية الحرارة



1-4 طرح كمية الحرارة  $Q_{loss}$  بثبوت الحجم

نسبة التكاثف

$$\varepsilon = \frac{V_1}{V_2} = \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{1}{x}}$$

$$\eta_{th} = 1 - \frac{T_1}{T_2} = 1 - \left( \frac{V_2}{V_1} \right)^{x-1}$$

$$\eta_{th} = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{x-1}}$$

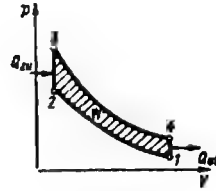
$$Q_{supp} = c_v m (T_3 - T_2)$$

$$Q_{loss} = c_v m (T_1 - T_4)$$

$$W = c_v m T_1 \left( 1 - \frac{p_3}{p_2} \right) (\varepsilon^{x-1} - 1)$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{x-1}{x}} = \varepsilon^{x-1}$$

$$\frac{T_3}{T_4} = \left( \frac{p_3}{p_4} \right)^{\frac{x-1}{x}} = \varepsilon^{x-1}$$



الشكل 212

### 3.6 دائرة محركات Diesel المثالية

تتكون دائرة محركات Diesel المثالية من تغيرات الحالة التالية (الشكل 213)

1-2 تكاثف بثبوت كمية الحرارة

2-3 إضافة كمية الحرارة  $Q_{supp}$  بثبوت الحجم

3-4 التمدد بثبوت كمية الحرارة

1-4 طرح كمية الحرارة  $Q_{loss}$  بثبوت الحجم

نسبة التكاثف

$$\varepsilon = \frac{V_1}{V_2} = \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{1}{x}}$$

$$\rho = \frac{V_3}{V_2} = \frac{T_3}{T_2}$$

مردود التبعة

$$Q_{\text{supp}} = c_p m (T_3 - T_2)$$

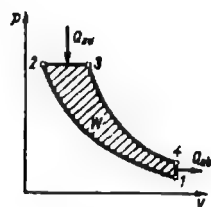
$$Q_{\text{loss}} = c_v m (T_1 - T_4)$$

$$W = \frac{p_1 V_1}{1-x} [x \varepsilon^{x-1} (\varphi - 1) - (\varphi^x - 1)]$$

$$\eta_{\text{th}} = 1 - \frac{1}{x} \frac{T_1}{T_2} \frac{T_4 / T_1 - 1}{T_3 / T_2 - 1}$$

$$\eta_{\text{th}} = 1 - \frac{1}{x \varepsilon^{x-1}} \frac{\varphi^x - 1}{\varphi - 1}$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{x-1}{x}} = \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{x-1} = \varepsilon^{x-1}$$



الشكل 213

## 4.6 الدارة المثالية للعنفات الغازية

(دائرة Ackert - Keller)

تتكون الدارة المثالية للعنفات الغازية من تغيرات الحالة التالية:

1 - 2 انضغاط بشبوت درجة الحرارة مع سحب كمية الحرارة  $Q_{\text{loss}}$

2 - 3 إضافة كمية الحرارة  $Q_{23}$  بشبوت الضغط (استنزاف)

3 - 4 تمدد بشبوت درجة الحرارة أثناء إضافة كمية الحرارة  $Q_{\text{supp}}$

4 - 1 طرح كمية الحرارة  $Q_{41}$  بشبوت الضغط (استنزاف)

الاستنزاف هو إعادة استخدام كمية الحرارة  $Q_{23} = |Q_{41}|$

المطروحة لتسخين نفس وسيط العمل

$$Q_{\text{supp}} = mRT_3 \ln \frac{p_3}{p_4}$$

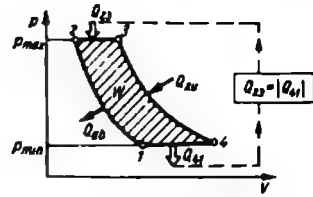
$$Q_{\text{loss}} = mRT_1 \ln \frac{p_1}{p_2}$$

$$W = mR(T_1 - T_3) \ln \frac{p_3}{p_4}$$

$$\eta_{\text{th}} = 1 - \frac{T_1}{T_3} = 1 - \frac{T_{\text{min}}}{T_{\text{max}}}$$

$$T_3 = T_4 = T_{\text{max}}$$

$$T_1 = T_2 = T_{\text{min}}$$

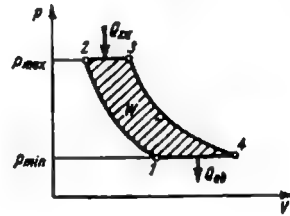


الشكل 214

## 5.6 الدارة المثالية لآلات الهواء الساخن (دائرة Jol)

تتكون الدارة المثالية لآلة الهواء الساخن من تغيرات الحالة التالية، (انظر الشكل 215)

- 1-2 انضغاط ايزوتروبي
- 2-3 إضافة الحرارة  $Q_{23}$  بثبوت الضغط
- 3-4 تمدد ايزوتروبي
- 4-1 طرح الحرارة  $Q_{41}$  بثبوت الضغط



الشكل 215

$$Q_{\text{loss}} = c_p m (T_3 - T_2)$$

$$Q_{\text{supp}} = c_p m (T_1 - T_4)$$

$$W = c_p m (T_2 - T_3) \left( 1 - \frac{T_1}{T_2} \right)$$

$$\eta_{\text{th}} = 1 - \frac{T_1}{T_2} = 1 - \left( \frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

يمكن تحسين المردود من خلال الاستنزاف

## 6.6 دائرة آلة التبريد

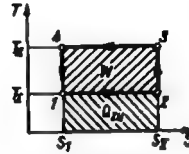
إن الدارة المثالية لآلة التبريد هي دائرة Carno العكسية، والتي تتكون من تغيرات الحالة التالية (الشكل 216)

1-2 إضافة الحرارة  $Q_{supp}$  تحت درجة حرارة ثابتة  $T_I$

2-3 تكثيف الايزونتروبي لوسيط التبريد

3-4 طرح الحرارة  $Q_{loss}$  تحت درجة حرارة ثابتة  $T_{II}$

4-1 تمدد الايزونتروبي



الشكل 216

$$\varepsilon_K = \frac{Q_{supp}}{W} = \frac{Q_{supp}}{|Q_{loss}| - Q_{supp}}$$

$\varepsilon_K$  عامل الاستطاعة لآلة التبريد

$$\varepsilon_K = \frac{T_I}{T_{II} - T_I}$$

عمل آلة التبريد

$$W = |Q_{loss}| = Q_{supp}$$

استطاعة التبريد النوعية

$$q_K = 3600 \frac{\text{kJ}}{\text{kWh}} \varepsilon_K = 860 \frac{\text{kcal}}{\text{kWh}} \varepsilon_K$$

$Q_{supp} > 0$  إضافة الحرارة = إنتاج البرودة

$$q_K = 3600 \frac{\text{kJ}}{\text{kWh}} \frac{T_I}{T_{II} - T_I}$$

$$Q_{loss} < 0$$

$$W > 0$$

## 7.6 دائرة المضخة الحرارية (توليد الحرارة)

إن الدارة المثالية للمضخة الحرارية هي كما في آلة التبريد العكسية، دائرة Carno (شكل 217)

$$|Q_{\text{loss}}| = Q_{\text{supp}} + W$$

حرارة تسخين المضخة الحرارية

$$\epsilon_w = \frac{|Q_{\text{loss}}|}{W} = \frac{|Q_{\text{loss}}|}{|Q_{\text{loss}}| - Q_{\text{supp}}}$$

عامل استطاعة المضخة الحرارية

$$\epsilon_w = \frac{T_{II}}{T_{II} - T_I}$$

$$q_h = 3600 \frac{\text{kJ}}{\text{kWh}} \epsilon_w = 860 \frac{\text{kcal}}{\text{kWh}} \epsilon_w$$

استطاعة التسخين النوعية

$$q_h = 3600 \frac{\text{kJ}}{\text{kWh}} \frac{T_{II}}{T_{II} - T_I} = 860 \frac{\text{kcal}}{\text{kWh}} \frac{T_{II}}{T_{II} - T_I}$$

## 8.6 دائرة الضاغط

في الضواغط المثالية (دون ضرر في الحجرة) تحدث في الاسطوانة العمليات التالية (قارن الشكل 217)

4-1 امتصاص غاز للتكثيف

1-2 تكثيف بوليتروبي للغاز

2-3 طرد الغاز المتكاثف

$$W_t = \frac{n}{n-1} p_1 V_1 \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right]$$

$$W_t = \frac{n}{n-1} m R T_1 \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right]$$

$W_t$  العمل المصروف للمكثف

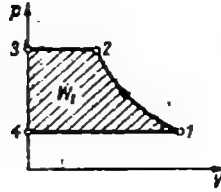
$$\frac{T_2}{T_1} = \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}}$$

$T_2$  درجة حرارة الهواء المتكاثف

$$|Q| = \frac{x-n}{x-1} \frac{W_t}{n}$$

$Q$  كمية الحرارة المستعيرة أثناء التكاثف

$$Q = c_v \frac{x-n}{1-n} m (T_2 - T_1)$$



الشكل 217

## 7. بخار الماء

تطبق للسوائل المغلية

لقيم السوائل المغلية (انظر  
الجدول 21)

$$\left\{ \begin{array}{l} h' \text{ انتالي } \text{kJ/kg} \\ u' \text{ الطاقة الداخلية } \text{kJ/kg} \\ v' \text{ الحجم النوعي } \text{m}^3/\text{kg} \\ s' \text{ الانتروبي } \text{kJ/kg K} \end{array} \right.$$

$$h' = u' + pv'$$

$$h' = c_{pm} t_s$$

$$u' = h' - pv'$$

$t_s$  درجة حرارة الغليان (درجة حرارة الإشباع)

تطبق للبخار الرطب

للبخار الرطب (المخلط بمرحلتين من  
السائل المغلي والبخار المشبع عند  $t_s$ )

$$\left\{ \begin{array}{l} h_x \text{ الانتالي } \text{kJ/kg} \\ u_x \text{ الطاقة الداخلية } \text{kJ/kg} \\ v_x \text{ الحجم النوعي } \text{m}^3/\text{kg} \\ s_x \text{ الانتروبي } \text{kJ/kg K} \end{array} \right.$$

$$x = \frac{m''}{m' + m''}$$

$$m_x = m' + m''$$

$x$  محتوى البخار النوعي

$m_x$  كمية البخار الرطب

$$m' = (1-x) m_x$$

$$m'' = x m_x$$

$m'$  كمية السائل في البخار الرطب

$m''$  كمية البخار المشبع في البخار الرطب

1 كغ بخار رطب =  $x$  كغ بخار مشبع +  $(1-x)$  كغ سائل

$$h_x = (1-x) h' + x h'' = h' + x(h'' - h')$$

$$u_x = (1-x) u' + x u'' = u' + x(u'' - u')$$

$$s_x = (1-x) s' + x s'' = s' + x(s'' - s')$$

$$v_x = (1-x) v' + x v'' = v' + x(v'' - v')$$

$$v_x \approx x v''$$

للضغط القليلة، عندما  $v'' \gg v'$

تطبق للبخار المشبع الجاف

لقيم البخار المشبع الجاف (البخار المشبع) (الجدول 21)

$\left\{ \begin{array}{l} h'' \text{ انتالبي kJ/kg} \\ u'' \text{ الطاقة الداخلية kJ/kg} \\ s'' \text{ الانتروبي K kJ/kg} \\ v'' \text{ الحجم النوعي m}^3/\text{kg} \\ r \text{ الحرارة المتبخرة kJ/kg} \end{array} \right.$

$$h'' = h' + r$$

$r$  الحرارة المتبخرة kJ/kg

$$u'' = h'' - p v''$$

$$s'' = s' + \frac{h'' - h'}{T_g} = s' + \frac{r}{T_g}$$

$T_g$  درجة حرارة الغليان K

$$r = h'' - h'$$

$$\frac{dp}{dT} = \frac{r}{(v'' - v') T_g}$$

معادلة Clausius - Clapeyron

## يطبق للبخار الزائد التسخين

$$\left. \begin{array}{l} \text{للبخار الزائد التسخين (القيم،} \\ \text{الجدولين 22، 23 أو مخطط } h,s \text{ لبخار} \\ \text{الماء)} \end{array} \right\} \begin{array}{l} h \text{ الانتالي kJ/kg} \\ u \text{ الطاقة الداخلية kJ/kg} \\ s \text{ الانتروبي kJ/kg K} \\ v \text{ الحجم النوعي m}^3/\text{kg} \end{array}$$

$$h = h'' + q_{\ddot{u}}$$

$$q_{\ddot{u}} = c_{pm}(t - t_s)$$

$$u = h - pv$$

$$s = s'' + c_{pm} \ln \frac{T}{T_s}$$

$c_{pm}$  السعة الحرارية النوعية المتوسطة للبخار

الزائد التسخين

الجدول 21: قيم الحالة للماء وبخار الماء عند الإشباع حسب Wukalowitsch

p bar $10^5 \text{ Pa}$	$t_s$ °C	$v'$ $\text{m}^3/\text{kg}$	$v''$ $\text{m}^3/\text{kg}$	$h'$ kJ/kg	$h''$ kJ/kg	$s'$ kJ/(kg K)
0.01	6.982	0.0010001	129.208	29.33	2513.8	0.1060
0.02	17.511	0.0010012	67.006	73.45	2533.2	0.2606
0.05	32.90	0.0010052	28.196	137.77	2561.2	0.4762
0.10	45.83	0.0010102	14.676	191.84	2584.4	0.6493
0.20	60.09	0.0010172	7.6515	251.46	2609.6	0.8321
0.40	75.89	0.0010265	3.9949	317.65	2636.8	1.0261
0.60	85.95	0.10333	2.7329	359.93	2653.6	1.1454
0.80	93.51	0.0010.87	2.0879	391.72	2666.0	1.2330
1.00	99.63	0.0010434	1.6946	417.51	2675.7	1.3027
2.00	120.23	0.0010608	0.88592	504.7	2706.9	1.5301
2.6	128.73	0.0010688	0.69288	540.9	2719.0	1.6209
4.0	143.62	0.0010839	0.46242	604.7	2738.5	1.7764
6.0	158.84	0.0011009	0.31556	670.4	2756.4	1.9308
8.0	170.42	0.0011150	0.24030	720.9	2768.4	2.0457
10.0	179.88	0.0011274	0.19430	762.6	2777.0	2.1382
13.0	191.60	0.0011438	0.15112	814.7	2786.0	2.2509
16.0	201.37	0.0011586	0.12368	858.6	2792.2	2.3436
20.0	212.37	0.0011766	0.09953	908.6	2797.4	2.4468
24.0	221.78	0.0011932	0.08319	951.9	2800.4	2.5343



P bar $10^5 \text{ Pa}$	$t_s$ °C	$v'$ $\text{m}^3/\text{kg}$	$v''$ $\text{m}^3/\text{kg}$	$h'$ $\text{kJ/kg}$	$h''$ $\text{kJ/kg}$	$s'$ $\text{kJ/(kg K)}$
32.0	237.44	0.0012237	0.06243	1025.5	2801.8	2.6786
40.0	250.33	0.0012521	0.04974	1087.5	2799.4	2.7967
50.0	263.92	0.0012858	0.03941	1154.6	2792.8	2.9209
65.0	280.83	0.0013350	0.02969	1241.4	2777.6	3.0764
80.0	294.98	0.0013843	0.02349	1317.5	2757.5	3.2083
100.0	310.96	0.0014526	0.01800	1408.6	2724.4	3.3616
120.0	324.64	0.0015267	0.01425	1492.6	2684.8	3.4986
160.0	47.32	0.0017101	0.00933	1651.5	2582.7	3.7486
200.0	365.71	0.002038	0.00587	1828.8	2413.8	4.0181
220.0	373.68	0.002675	0.00376	2007.7	2192.5	4.2891

الجدول 22: الحجم النوعي  $v$   $\text{m}^3/\text{kg}$  للبخار الزائد التسخين<sup>(1)</sup>

P bar = 10 <sup>5</sup> Pa	درجة حرارة التسخين الزائد °C						
	200	260	300	360	400	460	500
1	2.172	2.453	2.639	2.917	3.103	3.380	3.565
2	1.080	1.222	1.316	1.456	1.549	1.689	1.781
4	0.5343	0.6072	0.6548	0.7257	0.7726	0.8427	0.8893
6	0.3521	0.7021	0.4344	0.4821	0.5137	0.5607	0.5919
8	0.2608	0.2995	0.3241	0.3604	0.3842	0.4197	0.4432
10	0.2059	0.2378	0.2580	0.2873	0.3066	0.3351	0.3540
15	0.1324	0.1556	0.1697	0.1899	0.2030	0.2227	0.2354
20	-	0.1144	0.1255	0.1411	0.1512	0.1659	0.1956
25	-	0.08953	0.09892	0.1119	0.1201	0.1321	0.1399
30	-	0.07286	0.08116	0.09232	0.09933	0.1095	0.1161
40	-	0.05174	0.05885	0.06787	0.07339	0.08128	0.08638
50	-	-	0.04532	0.05316	0.05780	0.06434	0.06853
60	-	-	0.03616	0.04331	0.04738	0.05303	0.05662
80	-	-	0.02425	0.03089	0.03431	0.03888	0.04172
100	-	-	-	0.02330	0.02641	0.03036	0.03277
120	-	-	-	0.01810	0.02108	0.02467	0.02679
160	-	-	-	0.01107	0.01427	0.01750	0.01929

<sup>(1)</sup> Wukalowitzch حسب

الجدول 23: انتالي  $kl/kg$  h للبخار الزائد التسخين<sup>1</sup>

P bar = 105 Pa	درجة حرارة التسخين الزائد °C						
	200	260	300	360	400	460	500
1	2875.2	2994.1	3074.1	3195.7	3278.0	3404.5	3489.6
2	2870.5	2991.0	3071.7	3193.9	3276.5	3403.1	3488.6
4	2860.6	2984.7	3066.7	3190.2	3273.4	3401.1	3486.5
6	2850.2	2978.2	3061.7	3186.4	3270.3	3398.2	3484.0
8	2839.2	2971.6	3056.5	3182.7	3267.2	3396.0	3482.0
10	2827.5	2964.8	3051.3	3178.9	3264.0	3393.1	3480.2
15	2795.3	2947.0	3037.9	3169.3	3256.1	3387.2	3475.2
20	-	2927.0	3024.0	3159.5	3248.1	3381.0	3469.7
25	-	2907.5	3009.4	3149.6	3239.9	3375.1	3464.3
30	-	2885.5	2994.2	3139.3	3231.6	3366.8	3456.4
40	-	2835.6	2961.5	3118.2	3214.5	3353.7	3445.2
50	-	-	2925.4	3095.9	3196.9	3340.4	3433.8
60	-	-	2885.0	3072.4	3178.6	3326.8	3422.2
80	-	-	2785.4	3021.3	3140.1	3298.6	3398.5
100	-	-	-	2963.3	3098.5	3209.3	3374.1
120	-	-	-	2896.6	3053.3	3238.6	3349.0
160	-	-	-	2717.8	2949.7	3173.0	3296.3

## 8. الهواء الرطب

m كمية الهواء الرطب kg

$m_L$  كمية الهواء الجاف في كمية الهواء الرطب kg

$m_D$  كمية بخار الماء في كمية الهواء الرطب kg

$V_i$  حجم الهواء الرطب  $m^3$

p ضغط الهواء الرطب

$p_D$  الضغط الجزئي لبخار الماء

$p_D$  ضغط الإشباع لبخار الماء عند درجة حرارة  $t$

$p_L$  الضغط الجزئي للهواء الجاف

$t$  درجة حرارة الهواء الرطب  $^{\circ}\text{C}$

$\rho_D$  كثافة بخار الماء  $\text{kg/m}^3$

$\rho_D$  كثافة بخار الماء عند الإشباع  $\text{kg/m}^3$

$\rho_{TL}$  كثافة الهواء الجاف  $\text{kg/m}^3$

$x$  محتوى الرطوبة للهواء الرطب في  $\text{kg}$  بخار ماء لكل  $1 \text{ kg}$  هواء جاف

$x'$  محتوى الرطوبة عند الإشباع

$h$  انتالي الهواء الرطب  $\text{kJ/kg}$  للهواء الجاف (من  $1 \text{ kg}$  هواء جاف و  $x \text{ kg}$  بخار ماء)  
(ماء)

الرطوبة النسبية  $\phi = \frac{p_D}{p_D'} = \frac{p_D}{p_D'}$

درجة الإشباع  $\psi = \frac{x}{x'}$

محتوى الرطوبة  $x = \frac{m_D}{m_L} = \frac{\rho_D}{\rho_{TL}}$

$$x = 0.622 \frac{p_D}{p - p_D} = 0.622 \frac{\phi p_D'}{p - \phi p_D'}$$

$$x' = 0.622 \frac{p_D'}{p - p_D'}$$

الضغط الجزئي للهواء الجاف  $= p - p_D$   $p_L$

$$p_L = \frac{0.622}{0.622 + x} p$$

$$p_D = \phi p_D' = p - p_L$$

الضغط الجزئي لبخار الماء

$$p_D = \frac{x}{0.622 + x} p$$

$$h = 1.004 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} t + x \left( 2.500 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} + 1.86 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} t \right)$$

$$v = \frac{R_L T}{p} (1 + 1.607 x)$$

$$v = \frac{R_D T}{p} (0.622 + x)$$

$$V_t = m_L v = m v_f$$

$$v_f = \frac{V_f}{m} = \frac{v}{1+x}$$

$$m = m_D + m_L = m_L (1 + x)$$

$$m_D = x m_L$$

$$m_L = \frac{m}{1+x} = \frac{V_f}{v}$$

$$Q = m_L (h_2 - h_1)$$

T درجة حرارة الهواء الرطب K

$$R_L = 0.2871 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} = 29.27 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}$$

$$R_D = 0.4614 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} = 47.05 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}$$

$$1 \text{ bar} = 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 10^2 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^3}$$

v الحجم النوعي للهواء الرطب

في  $\text{kg/m}^3$  من الهواء الجاف

ويساوي  $\text{kg} (1+x)$  هواء رطب

$v_f$  الحجم النوعي للهواء الرطب

في  $\text{kg/m}^3$  من هواء رطب

x = const تغير الحالة حينما

### مزج كميتين من الهواء

لأجل مزج كمية هواء  $m_1$  من حالة  $t_1$  و  $x_1$  مع كمية هواء  $m_2$  وحالة  $t_2$  و  $x_2$  نطبق:

$$m_m = m_1 + m_2$$

$$m_m = m_{L1}(1 + x_1) + m_{L2}(1 + x_2)$$

$$h_m = \frac{m_{L1} h_1 + m_{L2} h_2}{m_{L1} + m_{L2}}$$

$$x_m = \frac{m_{L1} x_1 + m_{L2} x_2}{m_{L1} + m_{L2}}$$

إن نقطة حالة الهواء المزوج تقع

في مخطط h.x على المستقيم

المتشكل لكلا نقطتي الحالة المركبة

وتقسم المسافة بنسب عكسية لكلا

كميتي الهواء الصافي  $m_{L1}$  و  $m_{L2}$

يمكن أخذ قيم لـ  $t, h, v, x, \phi$

$$t_m = \frac{h_m + 2500 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} x_m}{1.004 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} + 1.86 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}}$$

$$\frac{m_{L2}}{m_{L1}} = \frac{h_m - h_1}{h_2 - h_m} = \frac{x_m - x_1}{x_2 - x_m}$$

$$\frac{m_{L1} + m_{L2}}{m_{L2}} = \frac{h_2 - h_1}{h_m - h_1} = \frac{x_2 - x_1}{x_m - x_1}$$

من المخطط - h.x (قديماً - i.x)  
للهواء الرطب

## 9. انتقال الحرارة

Q تدفق الحرارة مقاسة بوحدة W (0.86 kcal/h ؛ kcal/h)

λ عامل التوصيل الحراري مقاسة بوحدة W/m K ؛ kcal/m h K

α عامل الانتقال الحراري (W/m² K ؛ kcal/m² h K)

k عامل النفاذ الحراري (W/m² K ؛ kcal/m² h K)

C عامل الإشعاع (W/m² K⁴ ؛ kcal/m² h K⁴)

A المساحة التي تتدفق خلالها الحرارة أو الطبقة m²

δ سماكة الجدار أو الطبقة m

## 1.9 انتقال الحرارة بالحمل

$$Q = \frac{\lambda}{\delta} A(t_i - t_a)$$

الانتقال بالتوصيل خلال سطح ذو  
طبقة واحدة (الشكل 218)

$$Q = \frac{A(t_i - t_a)}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n}}$$

الانتقال بالتوصيل خلال سطح ذو  
طبقات متعددة (الشكل 219)

$$Q = \frac{A(t_i - t_a)}{\sum \frac{\delta}{\lambda}}$$

$$Q = \frac{\lambda_1}{\delta_1} (A(t_i - t')) = \frac{\lambda_2}{\delta_2} A(t' - t'') = \frac{\lambda_3}{\delta_3} A(t'' - t_a)$$

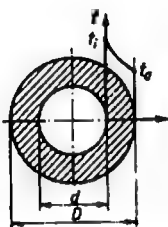
الشكل 219

$$[\lambda] = \frac{Jm}{sm^2 K} = \frac{J}{sm K} = \frac{W}{m K}$$

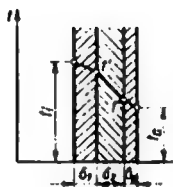
$$1 \frac{W}{m K} = 0.86 \frac{kcal}{mh K}$$

$$Q = \frac{2\pi L \lambda (t_i - t_a)}{\ln \frac{D}{d}}$$

الانتقال بالحمل عبر سطح أنبوب ذو طبقة واحدة (الشكل 220)



الشكل 220



الشكل 219



الشكل 218

$$Q = \frac{2\pi L (t_i - t_a)}{\sum \frac{1}{\lambda} \ln \frac{D}{d}}$$

الانتقال بالحمل عبر سطح أنبوب ذو طبقات متعددة

$$Q = \frac{2\pi L (t_i - t_a)}{\frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{D_1}{d_1} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{D_2}{d_2} + \dots + \frac{1}{\lambda_n} \ln \frac{D_n}{d_n}}$$

الجدول 24 : عامل الحمل الحراري λ

عامل التوصيل الحراري مقاس بوحدة		درجة الحرارة °C	المادة
$\frac{kcal}{mh K}$	$\frac{W}{m K}$		
175	204	20	النيوم
30	35	20	رصاص
300	350	20	نحاس

عامل التوصيل الحراري مقاس بوحدة		درجة الحرارة °C	المادة
$\frac{\text{kcal}}{\text{m h K}}$	$\frac{\text{W}}{\text{m K}}$		
95	110	20	نحاس أصفر
60	70	20	نيكل
45	52	20	فولاذ
95	110	20	توتياء
55	64	20	قصدير
0.40	0.47	20	أحجار القرميد
0.75	0.88	20	جدار خارجي
0.60	0.7	20	جدار داخلي
1.3	1.5	20	بيتون مسلح
3	3.5	20	غرانيت
0.09	0.1	20	صفائح رقيقة البنيان — صوف خشن
0.75	0.9	20	حجر الموقد الداخلي
0.9	1.1	400	حجر الموقد الداخلي
1.06	1.2	800	حجر الموقد الداخلي
0.062	0.07	50	حصى
0.069	0.08	200	حصى
0.03	0.035	0	صوف زجاجي
0.032	0.038	0	فلين
0.08 ... 0.15	0.1 ... 0.18	20	أحجار مراحل غني بالسليسيوم
0.4 ... 0.8	0.5 ... 0.9	20	أحجار مراحل غير بالجير
1.6 ... 2.1	1.9 ... 2.5	20	أحجار مراحل غني بالجير

## 2.9 انتقال الحرارة

لانتقال الحرارة من وسط سائل محرك أو وسط غازي إلى جدار تطبق المعادلة التالية:

$$Q = \alpha A(t - t_w)$$

$t$  درجة حرارة الوسيط

$t_w$  درجة حرارة الجدار

$\alpha$  عامل انتقال الحرارة ( $W/(m^2 K)$ )

$$1 \frac{W}{m^2 K} = 0.86 \frac{kcal}{m^2 h K}$$

يتم تحديد عامل انتقال الحرارة من مقادير الحالة المعروفة لانتقال الحرارة.

تعطى القيم الوسطية لعوامل انتقال الحرارة في الجدول 25، والتي يمكن اعتبارها كقيم حقيقية.

الجدول 25: عوامل انتقال الحرارة

عوامل انتقال الحرارة		الوسط
$\frac{kcal}{m^2 h K}$	$\frac{W}{m^2 K}$	
7	8	هواء في الجدار الداخلي
25	30	هواء في الجدار الخارجي
حتى 100	حتى 100	هواء في الجدار الخارجي عند التدفق
3 ... 15	4 ... 18	هواء وغازات عند تدفق حر
10 ... 100	12 ... 120	غازات متدفقة (هواء غازات مدخنة، الخ)
600 ... 1000	700 ... 1200	بخار ساخن متدفق
500 ... 2000	600 ... 2300	ماء في المراجل والأوعية عند دوران طبيعي
4000	4600	ماء عند التحريك
1000 ... 5000	1200 ... 6000	ماء متدفق
2000 ... 6000	2300 ... 7000	ماء مغلي
8000 ... 10000	9000 ... 12000	بخار رطب
8000 ... 12000	9000 ... 14000	بخار ماء متكاثف



### 3.9 انتقال الحرارة بالإشعاع

Q تدفق الحرارة بالإشعاع بين سطحين متوازيين

$$Q = C'A \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right]$$

C' عامل الإشعاع الناتج عن الإشعاع بين سطحين متوازيين

$$C' = \frac{1}{1/C_1 + 1/C_2 - 1/C_3}$$

C<sub>s</sub> عامل الإشعاع للأشعة السوداء

$$C_s = 5.77 \frac{W}{m^2 K^4} = 4.96 \frac{kcal}{m^2 h K^4}$$

الإشعاع بين المساحة A<sub>2</sub> والمساحة A<sub>1</sub>، حيث أن المساحة A<sub>1</sub> محاطة بالمساحة A<sub>2</sub>

$$Q = C''A_1 \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right]$$

$$C'' = \frac{1}{1/C_1 + A_1/A_2(1/C_2 - 1/C_3)}$$

تطبق فقط عندما تكون A<sub>2</sub> >> A<sub>1</sub>

$$C'' = C_1$$

### 4.9 انتقال الحرارة بالإشعاع والحمل

انتقال الحرارة بالإشعاع والحمل

$$Q = (\alpha + \alpha_{ray}) A(t_1 - t_2)$$

$$Q = \alpha_{tot} A(t_1 - t_2)$$

$$\alpha_{tot} = \alpha + \alpha_{ray}$$

عامل انتقال الحرارة بالإشعاع

$$\alpha_{ray} = \frac{C'' \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right]}{T_1 - T_2}$$

الجدول 26: عوامل الإشعاع C

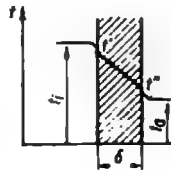
عامل الإشعاع		درجة الحرارة °C	المادة
$\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \text{ h K}^4}$	$\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ K}^4}$		
0.3	0.35	20	صفائح الفولاذ - مصقولة لماعة
1.25	1.45	25	صفائح الفولاذ - فطلية بالتوتياء
3.30	3.85	20	صفائح الفولاذ - مدرفلة
4.00	4.65	25	فولاذ صب رمادي، مغطى بالرمادي
0.26	.03	100 ... 500	النتيوم، مصقول، ملمع
0.4	0.46	100 ... 500	النتيوم، مسحوب
1.5	1.8	100 ... 500	النتيوم، معسوب بالرميل
1.40	1.7	25	رصاص، مؤكسد
0.20	0.23	20	نحاس، مصقول
3.86	4.5	25	نحاس أسود
4.7	5.4	20	حجر الآجر
3.70	4.3	1000	حجر المرفد الداخلي

## 5.9 النفوذ الحراري

النفوذ الحراري عبر جدار مستو (الشكل 221)

$$Q = kA(t_i - t_o)$$

$$Q = \alpha_i A(t_i - t') = \frac{\delta}{\lambda} A(t' - t'') = \alpha_o A(t' - t_o)$$



الشكل 221

$$k = \frac{l}{1/\alpha_i + \delta/\lambda + 1/\alpha_a} \quad \text{عامل انتقال الحرارة الكلي لجدار ذو طبقة واحدة (الشكل 221)}$$

$$k = \frac{l}{1/\alpha_i + \sum \frac{\delta}{\lambda} + 1/\alpha_a} \quad \text{عامل انتقال الحرارة الكلي لجدار ذو طبقات متعددة}$$

النفوذ الحراري خلال جدار أنبوب

$$Q = k\pi L(t_i - t_a) \quad \text{عامل النفوذ الحراري الكلي لجدار أنبوب ذو طبقة واحدة}$$

$$k = \frac{l}{\frac{1}{\alpha_i d} + \frac{1}{2\lambda} \ln \frac{D}{d} + \frac{1}{\alpha_a D}}$$

$$k = \frac{l}{\frac{1}{\alpha_i d_i} + \sum \frac{1}{2\lambda} \ln \frac{D}{d} + \frac{1}{\alpha_a D_a}} \quad \text{عامل النفوذ الحراري الكلي لجدار أنبوب ذو طبقات متعددة}$$

الأنابيب ذات الجدران الرقيقة

في الأنابيب المعدنية ذات الجدران الرقيقة والتي تملك قابلية التوصيل الحراري العالية، يمكن إهمال تأثير مقاومة التوصيل الحراري للأنبوب.

$$Q = \frac{\alpha_i \alpha_a}{\alpha_i + \alpha_a} \frac{d+D}{2} \pi L (t_i - t_a) \quad \text{عندما } \alpha_i \approx \alpha_a, \text{ نطبق:}$$

$$Q = \alpha_a \pi D L (t_i - t_a) \quad \text{عندما } \alpha_a \ll \alpha_i, \text{ نطبق:}$$

$$Q = \alpha_i \pi d L (t_i - t_a) \quad \text{عندما } \alpha_i \ll \alpha_a, \text{ نطبق:}$$

الأنبوب المعزول

عند انتقال حرارة سيء من خلال أنبوب معزول يمكن استنتاج قيمة انتقال الحرارة

$$Q = \frac{\pi L (t_i - t_a)}{\frac{1}{2\lambda_l} \ln \frac{D_l}{d_l} + \frac{1}{\alpha_a D_l}} \quad \begin{array}{l} \lambda_l \text{ قابلية التوصيل الحرارية للعازل} \\ D_l \text{ القطر الخارجي للعازل} \\ d_l \text{ القطر الداخلي للعازل} \end{array}$$

## 6.9 المبادل الحراري

من أجل انتقال الحرارة في مبادل حراري نطبق القانون الأساسي:

$$Q = kA \Delta t_m$$

$\Delta t_m$  فرق انتقال الحرارة الوسطي اللوغاريتمي  
على طول الأوساط الجريانية لسطح الناقل

$$\Delta t_m = \frac{\Delta t_{Gr} - \Delta t_{Kl}}{\ln \frac{\Delta t_{Gr}}{\Delta t_{Kl}}}$$

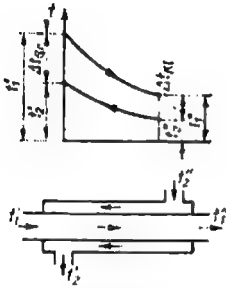
$\Delta t_m$  فرق درجة الحرارة الوسطي

في التيار ذو الاتجاه الواحد (شكل 222)

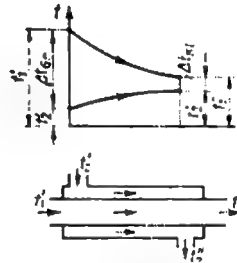
$$\left. \begin{aligned} \Delta t_{Gr} &= t_1' - t_2' \\ \Delta t_{Kl} &= t_1'' - t_2'' \end{aligned} \right\}$$

وفي التيار المتعاكس (شكل 223)

عند الجريان العرضي أو المتصالب يمكن تحديد الحساب العملي بدقة كافية لـ  $\Delta t_m$  عن طريق صيغة التيار المتعاكس.



الشكل 223



الشكل 222



---

# الهندسة الكهربائية

---

## 1. هندسة التيار المستمر العامة

$\rho$  المقاومة النوعية  $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$

$\rho'$  المقاومة النوعية  $\Omega\frac{\text{cm}^2}{\text{cm}} = \Omega\text{cm}$

$s$  سماكة الجدار، طول المسافة

$A$  المقطع، بشكل عام

$l$  طول الناقل الكلي

$\alpha_{20}$  عامل درجة الحرارة عند  $20^\circ\text{C}$  مقاس بالواحدة  $\text{K}^{-1}$

$\chi$  قدرة الناقلية  $\text{Sm}/\text{mm}^2$

$R_9$  المقاومة عند  $9^\circ\text{C}$

$R_{20}$  المقاومة عند  $20^\circ\text{C}$

$R_0$  ثوابت درجة الحرارة

$\text{Cu} = 235^\circ\text{C}$

$\text{Al} = 250^\circ\text{C}$

$\theta_1$  درجة الحرارة الابتدائية  $^\circ\text{C}$

## 1.1 قانون Ohm

$$U = IR$$

فرق الجهد (R = const)

$$W = Pt = UIt = I^2 R t = U^2 t / R$$

العمل

$$P = W/t = UI = I^2 R = U^2 / R$$

الاستطاعة

المقاومة النوعية وقدرة التوصيل

$$R = \frac{\rho l}{A} = \frac{1}{\chi A}$$

للتواصل

$$R = \frac{\rho' s}{A}$$

للعوازل

$$* \rho' = \rho \cdot 10^{-4}$$

تأثير درجة الحرارة على قيمة المقاومة

$$R_{\theta} = R_{20} [1 + \alpha_{20} (\theta - 20^{\circ} \text{C})] = R_{20} \left( 1 + \frac{\theta - 20^{\circ} \text{C}}{\theta_0 + \theta_1} \right)$$

قياس درجة الحرارة (مثلاً اللغات)

$$\theta_2 - \theta_1 = \frac{R_{\text{warm}} - R_{\text{cold}}}{R_{\text{cold}} \alpha_{20}} = \frac{R_{\text{warm}} - R_{\text{cold}}}{R_{\text{cold}}} (\theta_0 + \theta_1)$$

مع ازدياد درجة الحرارة تزداد المقاومة النوعية في المعادن بمعدل  $\rho_{20} \alpha_{20} \Delta \theta$

$$\rho_{\theta} = \rho_{20} [1 + \alpha_{20} (\theta - 20^{\circ} \text{C})]$$

تنخفض المقاومة الكربونية وأنصاف النواقل بارتفاع درجة الحرارة.

(الجدول 27) المقاومة النوعية، قيمة التوصيل، عوامل درجات الحرارة

$\alpha_{20}$ $\text{K}^{-1}$	$\chi_{20}$ $\text{Sm/mm}^2$	$\rho_{20}$ $\Omega \text{mm}^2/\text{m}$	المعدن
0.0038	33.3	0.03	النيوم
0.0046	10 ... 6.7	0.1 ... 0.15	الحديد

$\alpha_{20}$ $K^{-1}$	$\chi_{20}$ $Sm/mm^2$	$\rho_{20}$ $\Omega mm^2/m$	المعدن
0.0040	57.2	0.0175	النحاس
0.0016	14 ... 12.5	0.07 ... 0.08	نحاس أصفر
0.0040	10	0.1	نيكل
0.0009	1.04	0.96	زئبق
0.0037	62.5	0.016	فضة
0.0040	18.2	0.055	تنغستن
$5 \cdot 10^{-6}$	2.0	0.5	كرونتاتان
$4 \cdot 10^{-6}$	2.3	0.43	مانغانين (WM 43)

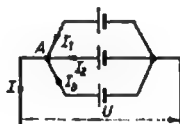
## 2.1 قانون Kirchhoff

### 1. القانون الأول: $\sum I = 0$

في كل عقدة يكون المجموع المميز لكل التيارات يساوي الصفر  
من العقدة A (الشكل 224) تطبق:

$$I_1 + I_2 + I_3 - I = 0$$

$$\sum I = 0$$

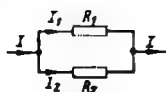


الشكل 224

تفرعات التيار

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

مقاومتان (الشكل 225)

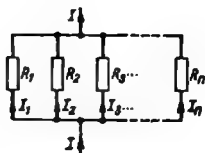


الشكل 225



$$\frac{I_1}{I} = \frac{R_p}{R_1}; \quad \frac{I_2}{I} = \frac{R_p}{R_2};$$

$$\frac{I_n}{I} = \frac{R_p}{R_n}$$

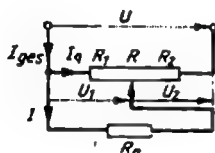


الشكل 226

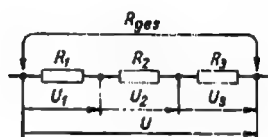
$R_p$  المقاومة المكافئة للوصل على التوازي (الشكل 226)

2. القانون الثاني:  $\Sigma E = \Sigma IR = \Sigma U$

في كل دائرة كهربائية يكون مجموع الجهود الأصلية مساوياً إلى الجهود المتفرعة في الدائرة المغلقة.



الشكل 228



الشكل 227

### 3.1 توصيل المقاومات ومنابع الجهد

الوصل على على التسلسل

$$R_{tot} = R_1 + R_2 + R_3$$

المقاومة المكافئة (الشكل 227)

$$R_{tot} = nR$$

عند تساوي المقاومات n

$$E_{tot} = E_1 + E_2 + E_3$$

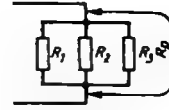
الجهود الكلي (الشكل 228)

$$I = I_1 = I_2 = I_3$$

الوصل على التوازي (الشكل 229)

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

$$G_{tot} = G_1 + G_2 + G_3$$



الشكل 229

المقاومة المكافئة

$$R_p = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$$

$$R_p = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

في حال مقاومتين

$$R_p = \frac{R}{n}$$

في حال المقاومات المتساوية n

$$U = U_1 = U_2 = U_3$$

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

التيار الكلي

مقسم الجهد، (مقياس الشدة)، أشكال أجزاء الجهد (الشكل 230)

$$U_1 = U \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

بدون حمل ( $R_a = \infty$ )

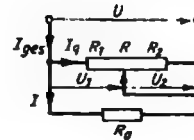
$$U_2 = U \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$I_q = \frac{U}{R}$$

التيار العرضي

مع حمل ( $R_a \neq \infty$ )

$$U_1 = IR_a = I_q R_1$$

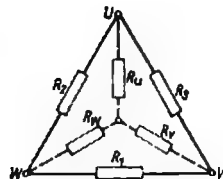


الشكل 230

$$I = \frac{UR_1}{R_1R_2 + R_aR} \\ = \frac{UR_1}{R(R_1 + R_a) - R_1^2}$$

التحويل من مثلثي إلى نجمي (الشكل

(231)



الشكل 231

$$R_u = \frac{R_2R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$R_v = \frac{R_1R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$R_w = \frac{R_1R_2}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$R_1 = \frac{R_uR_v + R_vR_w + R_wR_u}{R_u}$$

$$R_2 = \frac{R_uR_v + R_vR_w + R_wR_u}{R_v}$$

$$R_3 = \frac{R_uR_v + R_vR_w + R_wR_u}{R_w}$$

التحويل من التوصيل المثلثي إلى  
التوصيل النجمي المكافئ

التحويل من التوصيل النجمي إلى  
التوصيل المثلثي المكافئ

## 4.1 توصيل الشبكات Kirchoff

أولاً. الحساب بمساعدة قوانين Kirchoff:

1. في كل دائرة مغلقة يكون مجموع الجهود الأصلية مساوياً لمجموع تفرعات الجهد.

2. يمكن في دائرة مكونة من  $n$  نقطة و  $n$  تيارات خارجية أن يكون  $(n-1)$  تياراً فقط مستقلاً عن بعضه البعض. وينتج التيار الأخير حسب قاعدة نقطة العقدة.

3. قبل حساب أية دائرة ينبغي تحديد الخطوات التالية: (الشكلين 232، و 233)

آ) تحديد عشوائي لاتجاه الدوران.

(ب) تحديد اتجاه تشغيل التيار في منابع الجهد (الاتجاه الهندسي للتيار).

(ج) تحديد افتراضي للتيارات في الفروع الوحيدة.

(د) تأخذ الجهود التي مع اتجاه الدوران إشارة موجبة في حين تأخذ الجهود ذات الاتجاه المعكوس الإشارة السالبة.

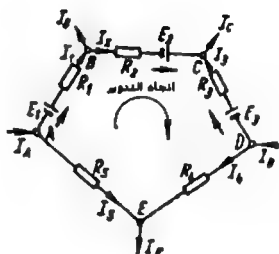
(هـ) تأخذ انخفاضات الجهود في المقاومات اتجاه التيارات التابعة لها.

$$I_A + I_D = I_B + I_C + I_E$$

$$E_1 + E_2 - E_3 = I_1 R_1 + I_2 R_2 - I_3 R_3 + I_4 R_4 - I_5 R_5$$



الشكل 233



الشكل 232

ثانياً. تحويل الشبكة (فقط عندما لا يكون هناك جهود أصلية في أجزاء الشبكة ومن أجل المقاومات الخطية) التحويل من نجمي إلى مثلثي (الشكل 231).

ثالثاً. قانون التقاطع (قانون الوضع الأمثل) يطبق لجميع الشبكات الخطية، إن التيارات في الفروع لشبكة خطية مع نهاية جهود أصلية كثيرة، تساوي مجموع التيارات الفرعية التي تسبب من خلال الجهود الأصلية المنفردة

يمكن اختصار الجهود الأصلية للدائرة في كل مرة حتى واحدة، وحساب التيارات الفرعية، كما لو كانت الجهود السابقة المذكورة غير موجودة. إن التيار المتفرع المطلوب يساوي إلى مجموع كل التيارات الجزئية المحسوبة.

يجب الانتباه إلى اتجاه التيار عند الجمع.

$$I_{AB} = I_1' + I_2'$$

كلا المولدان يعملان

$$I_{AB} = \frac{E_1 R_{i2} + E_2 R_{i1}}{R_{i1} + R + R_{i1} R_{i2} + R_{i2} R}$$

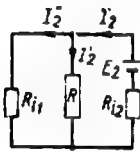
(انتبه لاتجاه الجهد) (الشكل 234)

$$I_1' = \frac{E_1 R_{i2}}{R_{i1} R + R_{i1} R_{i2} + R_{i2} R}$$

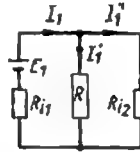
المولد الأول يعمل (شكل 235)

$$I_2' = \frac{E_2 R_{i1}}{R_{i1} R + R_{i1} R_{i2} + R_{i2} R}$$

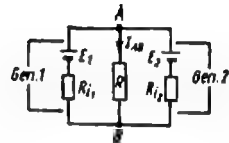
المولد الثاني يعمل (شكل 236)



الشكل 236



الشكل 235

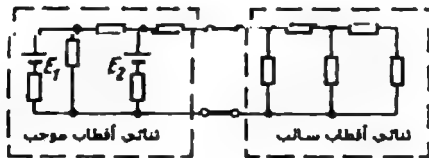


الشكل 234

رابعاً: الحساب مع منبع جهد بديل (نظرية ثنائي الأقطاب) (شكل 237)

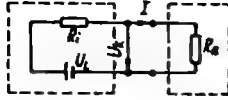
ثنائي الأقطاب الموجب هو ثنائي الأقطاب، الذي يحوي قوى محرّكة كهربائية.

ثنائي الأقطاب السالب هو ثنائي الأقطاب، الذي يحوي فقط على مقاومات.



الشكل 237

التوصيل المكافئ (شكل 238)



الشكل 238

$$I = \frac{U_L}{R_i + R_a} = I_K \frac{R_i}{R_i + R_a}$$

$U_L$  الجهد على فراغ عند

$$I_K = \frac{U_L}{R_i}$$

$R_a \rightarrow \infty$  أي؛  $I = 0$

$$U_K = IR_a = U_L \frac{R_a}{R_i + R_a} = U_L - IR_i$$

$U_K$  جهد التوصيل (اللاقط)

$I_K = 0$  تيار القصر (التيار الأصلي)

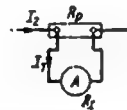
تحسب المقاومة الداخلية المكافئة  $R_i$  كمقاومة كلية ابتداءً من الدخول، حيث ينبغي قصر منبع الجهد.

## 5.1 قياسات التيار المستمر

توسيع مجال القياس لأجهزة القياس (بشكل أفضل ملفات الدوران)

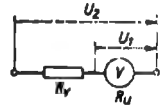
$$R_v = R_U \left( \frac{U_2}{U_1} - 1 \right) \quad \text{الشكل 239}$$

$$R_p = \frac{R_I}{\frac{I_2}{I_1} - 1} \approx R_I \frac{I_1}{I_2} \quad \text{الشكل 240}$$



الشكل 240

قياس التيار



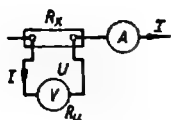
الشكل 239

قياس الجهد

## 6.1 قياس المقاومة

$$R_x = \frac{U}{I}$$

أ) قياس الجهد والتيار (الشكلين 241 و 242)



الشكل 241

مخصص لقياس التيار العالي جداً، عندما

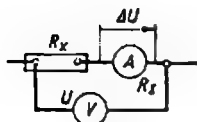
$$R_x \ll R_U$$

$$\Delta I = \frac{U}{R_U}$$

مخصص لقياس الجهد العالي جداً، عندما

$$R_x \gg R_I$$

$$\Delta U = R_I I$$



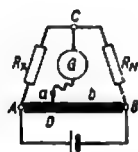
الشكل 242

(جهاز قياس ذو تسجيل استطاعة صغيرة بشكل غير مباشر لـ  $R_x$  يعطي خطأ صغيراً، عند التصحيح الحسابي يكون أيضاً التوصيل حسب الشكل 241 سديداً).

$$f = \frac{R_x}{R_U} 100\% \quad f = \frac{R_I}{R_x} 100\%$$

$$R_x = R_N \frac{a}{b}$$

ب(1) جسر قياس Kirshoff (الشكل 243)



الشكل 243

في الدارة المتوازنة شبكة بين A و B، G  
مقياس مؤشر صفري أكبر حساسية وسط  
الشبكة (إذاً اختيار  $R_N$  في الموقع الأكبر من  
 $R_x$  ما أمكن)

$$R_x = R_N \frac{R_1}{R_2}$$

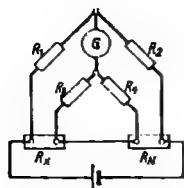
ب(2) جسر Wheatstone (الشكل 244)

$$R_x = R_N \frac{R_1}{R_2} = R_N \frac{R_3}{R_4}$$

ج(ج) جسر Thomson (الشكل 245)

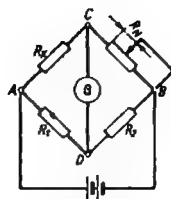
$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} \quad \text{غالباً} \quad R_1 = R_3 \quad R_2 = R_4$$

مقاومات مضاعفة



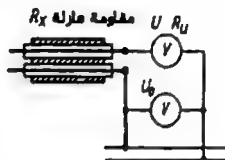
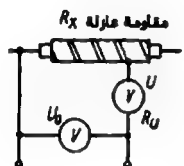
الشكل 245

$$R_x = \left( \frac{U_0}{U} - 1 \right) R_U$$



الشكل 244

(د) مقياس الجهد (خاص للمقاومات العازلة) (الشكل 246)

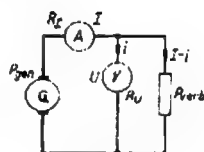


الشكل 246

7.1 قياس الاستطاعة من خلال قياس الجهد والتيار  
(الأشكال 247 و 248)

$$P_{\text{cons.}} = U(I - i) = UI - \frac{U^2}{R_U}$$

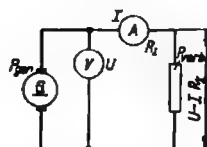
$$P_{\text{gen}} = (U + IR_1)I = UI + I^2 R_1$$



الشكل 247

$$P_{\text{verb}} = (U - IR_1)I = UI - I^2 R_1$$

$$P_{\text{ges}} = U \left( I + \frac{U}{R_U} \right) = UI + \frac{U^2}{R_U}$$



الشكل 248



$$P_{\text{cons}} \text{ الاستطاعة المستهلكة} \quad \frac{U^2}{R_{\text{II}}} \text{ تحول الاستطاعة لقياس الجهد}$$

$$P_{\text{gen}} \text{ استطاعة المولدة} \quad I^2 R_{\text{I}} \text{ تحويل الاستطاعة لقياس شدة التيار}$$

يكون توصيل الجهد الصحيح للحساب مناسباً، وغالباً ليس هناك ضرورة للتصحيح، وذلك عندما يطبق في جهاز القياس التوصيل مع أصغر خطأ عن طريق محول الاستطاعة.

## 2. الحقل المغناطيسي

$N$  عدد اللفات

$\Phi$  التدفق المغناطيسي

$\Theta$  الفيض المغناطيسي

$R_m$  المقاومة المغناطيسية

$s$  طول خطوط الحقل المغناطيسي

$A$  المساحة الكلية للتدفق، المطبق عمودياً على التدفق المغناطيسي

$$\Theta = IN$$

الجهد الأصلي المغناطيسي، الفيض

المغناطيسي، القوة المحركة المغناطيسية

$$\Phi = \frac{\Theta}{R_m}$$

قانون Ohm للدائرة المغناطيسية، من أجل

$$R_m = \frac{s}{\mu A} = \frac{s}{\mu_0 \mu_r A}$$

$R_m = \text{const}$ ، هذا يعني أن  $\mu_r = \text{const}$

$$\mu_0 = 1.257 \times 10^{-8} \text{ H/cm}$$

ثابت التحريض

$$= 0.4\pi \times 10^{-8} \text{ H/cm}$$

$$= 0.4\pi \times 10^{-8} \text{ Vs/A cm}$$

عامل قابلية المغنطة  $\mu_r$  في الهواء  $\mu_L = 1.000\ 0004$

قابلية المغنطة  $\mu = \mu_0 \mu_r$

قيمة التوصيل المغناطيسي  $\Lambda = \frac{l}{R_m}$

شدة الحقل المغناطيسي في حقل متجانس  $H = \frac{\Theta}{s}$

شدة الحقل المغناطيسي في حقل غير متجانس  $H = \frac{d\Theta}{ds}$

من أجل دورة مغلقة  $\Theta = \oint H \, ds$   
 $= \sum H_s \, ds = H_1 s_1 + H_2 s_2 + \dots + H_n s_n$

كثافة التدفق في حقل متجانس  $B = \frac{\Phi}{A}$

كثافة التدفق في حقل غير متجانس  $B = \frac{d\Phi}{dA}$

تحريض الحقل المغناطيسي في الهواء لناقل  $H_L = \frac{1}{s} = \frac{1}{2\pi r}$

تيار متدفق على بعد  $r$   $\mu_0 = 1.257 \times 10^{-8} \text{ H/cm}; \mu_r \approx 1$

التحريض وشدة الحقل في الهواء  $B_L = \mu_0 \mu_r H_L = \mu_0 H_L$

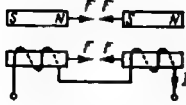
## 1.2 قواعد المغنطة الكهربائية

### قاعدة البرمات (البرمة)

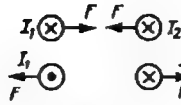
بفترض دوران محور الملف برمة ذات دوران يميني بنفس الاتجاه المصطلح للتيار، هكذا ينتج اتجاه الحركة لمحور الملف بالاتجاه الموجب للحقل (الشكل 249).

تجذب النواقل المتوازية التي تجري بنفس اتجاه التيار، تتباعد عندما يجري التيار عكس حركتها.

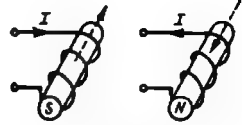
(الشكل 250)، تتباعد الأقطاب المتشابهة، وتنجذب الأقطاب غير المتشابهة (يطبق هذا للمغناطة المستمرة والكهربائية) شكل 251.



الشكل 251



الشكل 250



الشكل 249

### قاعدة - الأصابع الثلاث

تفتح الأصابع الإبهام، والسبابة والوسطى، بحيث يشكل نظام إحداثي فراغي.



الشكل 252

ترتيب القيم حسب الأصابع المنفردة:

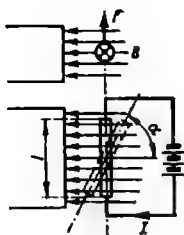
الإبهام	الحركة
السبابة	اتجاه الحقل
الوسطى	اتجاه التيار
عند العزم المحرك	اليد اليسرى
عند العزم المولد	اليد اليمنى

(انظر الشكل 252)

## 2.2 تأثيرات الحقل المغناطيسي

ناقل التيار المتدفق في الحقل المغناطيسي (شكل 253) إن العوامل الحاسمة لتأثير القوة هي:

التحريض في الحقل، التيار في الناقل، وطول إسقاط الناقل عرضياً لاتجاه الحقل



الشكل 253

$$F = B I / \sin \alpha$$

F مقاسة بالوحدة N

B مقاسة بالوحدة  $T = Vs/m^2$  (Tesla)

I مقاسة بالوحدة A

/ مقاسة بالوحدة m

$$*F_{max} = 10.2 \cdot B I / (kp)$$

في حالة طول ناقل عمودي على خطوط الحقل

B مقاسة بالوحدة  $Vs/cm^2$

I مقاسة بالوحدة A

/ مقاسة بالوحدة cm



الشكل 254a

$$F = \pm \frac{\mu_0}{2\pi s} I_1 I_2$$

قوة التأثير بين ناقلين للتيار المتدفق متوازيين

/ طول الناقل المتوازي

s بعد الناقل (I و s بنفس الوحدة)

$I_1, I_2$  تيارات الناقل مقاسة بالوحدة A

$$|c| = \frac{d\Phi}{dt} = \frac{d\Phi}{\Delta t} = \frac{B/\Delta s}{\Delta t} = B/v$$

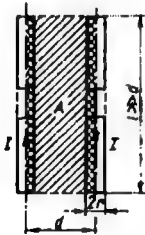
الملف المتحرك في الحقل المغناطيسي

يقطع الناقل ذو الطول l المسافة  $\Delta s$  بزمن  $\Delta t$

### 3.2 التحريض الذاتي

التدفق $\Phi$	I التيار
d قطر الملف الوسطي	l الطول
d بعد الناقل	2r قطر الناقل
N اللفات	A المساحة
التحريضية	$L = \frac{\mu_r \mu_0 N^2 A}{l}$
	$L = \frac{N\Phi}{I} = \frac{I^2}{R_m}$
الجهد المتحرض	$e_L = -L \frac{di}{dt}$

(تطبق القوانين من أجل L ملف حلقي غير قابل للتحكم أو ملفات طولية ممتدة  $l \gg d$ ، عندما يكون الحقل الخارجي قابل للإهمال وعندما تكون قابلية المغنطة ثابتة، لذلك لا يكون هناك حديد في الدارة).



الشكل 254b

لفة الناقل (الشكل 254b)

التحريضية حوالي 8 % أصغر عند  $l = 5d$ ،  
4% أصغر عند  $l = 10d$

$$* L = 9.2 / \lg \frac{d}{r} 10^{-9} (H)$$

$$* L = 4 / \ln \frac{d}{r} 10^{-9}$$

باعتبار الفراغ ضمن الملف الناقل، الملفات

N = 1 لفة، l مقاسة بالوحدة cm

يعتبر أيضاً الفراغ ضمن الناقل

$$L = l \left( 1 + 9.21 g \frac{d}{r} \right) 10^{-9}$$

$$L = l \left( 1 + 4 \ln \frac{d}{r} \right) 10^{-9} \text{ (H)}$$

$$i = l \left( 1 - e^{-\frac{t}{T}} \right)$$

عملية التوصيل من أجل  $t = T$

تصبح  $i = 0.632 I$  (I قيم النهاية الستاتيكية)

$$T = \frac{L}{R}$$

ثابت الزمن المغناطيسي الكهربائي  $s$  —

عندما  $L$  —  $R$  ،  $H$  —  $L$

$$i = I e^{-\frac{t}{T}}$$

عملية الفصل من أجل  $t = T$  تصبح  $i = 0.368 I$

الجدول 28

$\sqrt{t/T}$	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
$e^{-\sqrt{t/T}}$	1.000	0.819	0.670	0.549	0.449	0.368
$\sqrt{t/T}$	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0
$e^{-\sqrt{t/T}}$	0.223	0.135	0.082	0.050	0.018	0.007

### التحريض المتبادل

عامل التوزيع Heyland

$$\tau_1 = \frac{\text{تدفق التوزيع}}{\text{التدفق المفيد}} = \frac{\Phi_{12}}{\Phi_{12}} < 1$$

عامل التوزيع Hopkinson

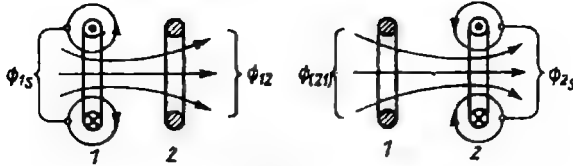
$$v_1 = \frac{\text{التدفق الكلي}}{\text{التدفق المفيد}} = \frac{\phi_1}{\phi_{12}} > 1$$

$$v_1 = \tau_1 + 1$$

$$M = \Delta N_1 N_2 = \mu_0 \frac{A}{l} N_1 N_2$$

عامل التحريض المتبادل

$$M = \frac{N_2 \Phi_{12}}{i_1} = \frac{N_1 \Phi_{12}}{i_2}$$



الشكل 255

عامل التأثير المتبادل لترتيب الملفات (عامل الوصلة  $k$ )

$$M = k\sqrt{L_1 L_2}$$

مع توزيع

$$k = 1$$

بدون توزيع

$$\sigma = 1 - k^2 = 1 - \frac{M^2}{L_1 L_2}$$

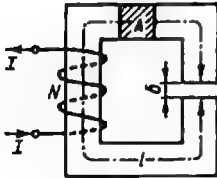
عامل التوزيع Behn-Eschenburg

الحديد في الدارة المغنطة - حساب الملفات

نواة حديدية ذات فراغ هوائي (الشكل 256)

$$L = N^2 \Lambda = N^2 \frac{\mu_r \mu_0 A}{l + \mu_r \delta} = N^2 \frac{\mu_0 A}{\frac{l}{\mu_r} + \delta}$$

يتعلق بـ  $\mu_r$



الشكل 256

عندما يكون التحريض ضعيفاً والفراغ ليس صغيراً جداً، يمكن إهمال كمية الفيض للحديد، لذا

$$\left( \frac{1}{\mu_r} \ll \delta \right) \text{ أو أيضاً } l \ll \mu_r \delta$$

الضباغات الحرارية للتيار الملف المهيج

$$*P_{Cu} = CS^2 m \text{ (W)}$$

S كثافة التيار مقاسة بالوحدة  $A/mm^2$

$$*P_{Cu} = CS^2 M \text{ (kW)}$$

m كتلة الملف g

$$*C = \frac{1}{x\rho}$$

M كتلة الملف مقاسة بالوحدة kg

$\rho$  كثافة مقاسة بالوحدة g/cm<sup>3</sup> أو kg/m<sup>3</sup>

x قابلية التوصيل الكهربائي Sm/mm<sup>2</sup>

### حساب الملفات

S كثافة التيار A/mm<sup>2</sup>

A<sub>w</sub> المقطع العرضي للفة mm<sup>2</sup>

U الجهد مقاسة بالوحدة V

\* $\Theta_{max}$  الفيض الأعظمي

$$*\Theta_{max} = A_w k_{Cu} S$$

l<sub>m</sub> الطول الوسطي m

$$K_{Cu} = \frac{A_{Cu} \text{ المقطع العرضي الفعّال للنحاس}}{A_w \text{ المقطع العرضي للفة}} = \text{عامل ملئ النحاس}$$

$$*A = \frac{\Theta_{max} l_m}{U_x} \text{ mm}^2$$

المقطع العرضي للسلك

$$*N = \frac{A U_x}{l_m}$$

عدد الملفات

$$\frac{\text{طول اللفة}}{\text{اللفات لكل مربع}} = \text{اللفات لكل مربع (1.05...1.10) قطر السلك المعزول}$$

## 4.2 طاقة الحقل المغناطيسي

$$W_m = \frac{LI^2}{2}$$

الطاقة المغناطيسية المختزنة أثناء جريان التيار

$$W_m = V \int_0^B H dB$$

الطاقة المغناطيسية المختزنة في حجم الهواء V

$$w_m = \frac{W_m}{V} = \frac{BH}{2}$$

كثافة الطاقة

$$W_m = V \frac{HB}{2}$$

تطبيق للحقل المتجانس

$$W_m = \frac{\Phi \Phi}{2}$$



### قوة رفع المغنطة الكهربائية

$$F = \frac{B^2 A}{2\mu_0}$$

$$*F \approx A(2B)^2 = 4 A B^2 \text{ (kp)}$$

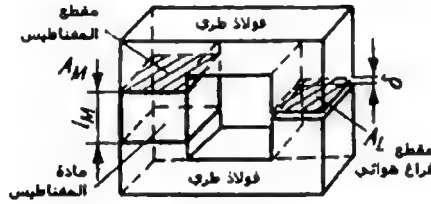
عندما A مقاسة بالواحدة  $\text{cm}^2$  مساحة القطب الكلية

B مقاسة بالواحدة  $\text{Vs/m}^2$

### المغنطة المؤقتة، المغنطة الدائمة

(تحديد القياسات حسب منحنى الأثر المغنطيسي)

تتكون دائرة المغنطة بشكل عام من المغنطة المؤقتة، ودائرة الحديد الطري لتوجيه خطوط المغنطة وفراغات الهواء. (يمكن إهمال ضياعات الحديد الطري عملياً) (الشكل 257).



الشكل 257

$\delta$  طول القناة الهوائية

( $\delta$  صغيرة بالمقارنة مع مساحة القنوات الهوائية)

شدة الحقل  
التحريض

$$\begin{cases} H_{m \text{ opt}} \\ B_{m \text{ opt}} \end{cases}$$

في نقطة العمل بطاقة أعظمية للمغناطيس

$$\mu_0 = 1.257 \cdot 10^{-9} \text{ Vs/A cm}$$

$B_L$  تحريض القناة الهوائية

$\eta_m$  المردود المغناطيسي (0.4 ... 0.6) مع اعتبار التوزيع

$l_M$  طول المغناطيس

$A_L$  مقطع القناة الهوائية

$A_M$  مقطع المغناطيس

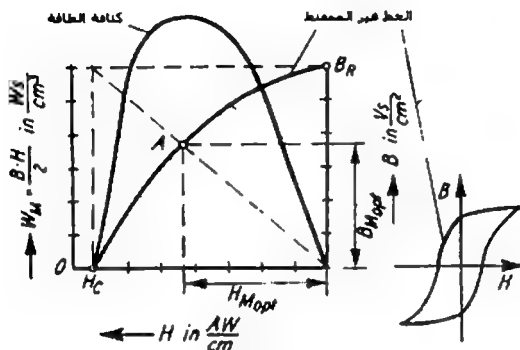
$$l_M = \delta \frac{B_L}{\mu_0 H_{m opt}}$$

طول المغناطيس

$$A_M = A_L \frac{B_L}{B_{m opt}} \frac{l}{\mu_M}$$

مقطع المغناطيس

تلتقي نقطة العمل المثالية A بدقة كافية مع نقطة تقاطع أقطار المستطيل المتكونة من  $B_R$  و  $H_C$  مع المنحني غير المغنط في الربع الثاني. الشكل (258)



الشكل 258

### 3. الحقل الكهربائي

$$E = U/s$$

شدة الحقل الكهربائي (متجانس)

$$E = dU/ds$$

s طول مسافة الهواء (غير متجانس)

$$F = EQ$$

القوة المؤثرة

$$C = Q/U$$

السعة

$$\epsilon_0 = 0.08859 \times 10^{-12} \text{ F/cm}$$

ثابت الحقل الكهربائي (ثابت الحقل المغنط)

$$= 0.08659 \text{ pF/cm} = 8.859 \text{ F/m}$$

$$D = \frac{Q}{A} \quad \text{كثافة تدفق الإزاحة (متجانس)}$$

$$D = \frac{dQ}{dA} \quad \text{(غير متجانس)}$$

$\epsilon_r$  عامل العازلية الكهربائية

(الجدول 29) عوامل العازلية الكهربائية

$\epsilon_r$	المادة	$\epsilon_r$	المادة
1.00059	هواء	1	الفراغ
2.2 ... 2.5	زيت معدني	80	الماء
4.5 ... 5.5	ميكانيت	3.5	خلايا
2 ... 60	سراميك	3.8 ... 5	كوارتز
3.5 ... 3.5	ورق قاس	1.8 ... 2.6	ورق
2 ... 3000	كزل سراميك خاصة	3 ... 3.5	خشب
2 ... 3.5	مطاط قاس	3.5 ... 4.5	باكليت
4 ... 6	بيرتيناكس Pertinax	4 ... 10	ميكا
4.1 ... 5	ستياتيت Steatit	6 ... 8.3	مرمر
2.7 ... 3.7	شيلاك Schellack	4.5 ... 6.5	بورسلان
		2.1 ... 2.2	بارافين

$\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$  ثابت العازلية

$$C = \frac{\epsilon_r \epsilon_0 A}{l} \quad \text{مكثفات الصفائح}$$

قانون Coulomb في الكهرباء الساكنة

(على بعد  $s$  تؤثر شحنتان  $Q_1, Q_2$  [As] بقوة تأثير جاذبة أو مبادعة، حسب ما يكون، وإما أن يكون الشحن متساو الاتجاه أو متعاكس)

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{\epsilon_r} \frac{Q_1 Q_2}{s^2} \quad * F = 89.8 \times 10^{12} \frac{1}{\epsilon_r} \frac{Q_1 Q_2}{s^2} \quad [N]$$

$$* F = 9.16 \times 10^{12} \frac{1}{\epsilon_r} \frac{Q_1 Q_2}{s^2} \quad [kp]$$

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n$$

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

$$C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

$$C_{ges} = \frac{C}{n}$$

$$E = \frac{U}{r \ln \frac{r_2}{r_1}}$$

$$*C = \frac{\epsilon_r \epsilon_0 2\pi l}{\ln \frac{r_2}{r_1}} = 0.556 \times 10^{-12} \frac{\epsilon_r l}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \quad [F]$$

$$*C = 0.0556 \frac{\epsilon_r}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \quad [\mu F/km]$$

$$U = \frac{Q}{\epsilon_r \epsilon_0 4\pi} \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

$$*U = 0.899 \times 10^{12} \frac{Q}{\epsilon_r} \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad [V]$$

$$*C = \frac{\epsilon_r \epsilon_0 4\pi r_1 r_2}{r_2 - r_1} \quad [F]$$

$$*C = 1.113 \times 10^{-12} \frac{\epsilon_r r_1 r_2}{r_2 - r_1} \quad [F]$$

$$E_r = \frac{U}{r}$$

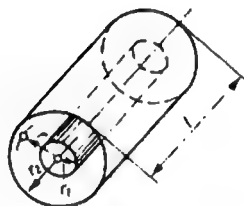
وصل المكثفات على التوازي

وصل المكثفات على التسلسل

مكثفتين على التسلسل

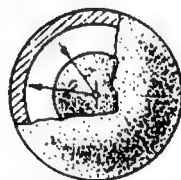
n مكثف متساوي على التسلسل

مكثف أسطواني (الشكل 259)



الشكل 259

مكثف كروي



الشكل 260

شدة الحقل على سطح كرة منفردة

$$U = \frac{\ln \frac{s}{R}}{\pi \epsilon_0 l} Q$$

$$E_{\max} \approx \frac{U}{2R \ln \frac{s}{R}}$$

$$C_L = \frac{\pi \epsilon_0 l}{\ln \frac{s}{R}}$$

توصيل مضاعف (الشكل 261)  
(في الهواء  $s \ll R$ )



الشكل 261

$$* C_L = 0.278 \times 10^{-12} \frac{1}{\ln \frac{s}{R}} \quad [F];$$

$$C_L = \frac{0.0278}{\ln \frac{s}{R}} \quad [\mu F / km]$$

#### 4. هندسة التوتر العالي

$$W_e = \frac{1}{2} C U^2$$

الطاقة المخزنة في حقل كهربائي

$U$  الجهد المطبق الفائق :-

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{حقل متجانس} \left\{ \begin{array}{l} \text{للـهـواء} \quad \frac{U_d}{s} \approx 30 \text{ kV/cm} = \frac{30}{\sqrt{2}} \text{ kV}_{\text{eff}} / \text{cm} = 21 \text{ kV}_{\text{eff}} / \text{cm} \\ \text{زيت} \quad 80 \text{ kV}_{\text{eff}} / \text{cm} = 115 \text{ kV}_{\text{eff}} / \text{cm} \approx \end{array} \right. \\ \text{حقل غير متجانس} \left\{ \begin{array}{l} \text{هواء} \quad \approx 3 \dots 4 \text{ kV}_{\text{eff}} / \text{cm} \\ \text{زيت} \quad \approx 12 \dots 16 \text{ kV}_{\text{eff}} / \text{cm} \end{array} \right. \end{array} \right.$$

$$* P_v = U^2 \omega C \tan \delta$$

ضباغ العازلية الكهربائية مقاسة بالوحدة  $W$  عندما

$U$  مقاسة بالوحدة  $V$  و  $C$  مقاسة بالوحدة  $F$

$$\left. \begin{array}{l} v = \cos \phi 100\% \\ v \approx \tan \delta 100\% \end{array} \right\}$$

بالنسبة للاستطاعة الظاهرية  $S$

توزيع شدة الحقل بمواد العزل الطبقيّة (شكل 262)

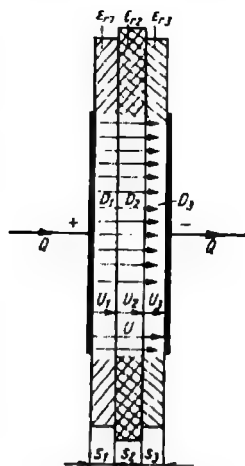
$$D_1 = D_2 = D_3 = D$$

$$E_1 = \frac{D_1}{\epsilon_{r1}\epsilon_0}; E_2 = \frac{D_2}{\epsilon_{r2}\epsilon_0}; E_3 = \frac{D_3}{\epsilon_{r3}\epsilon_0}$$

$$E_1 = \frac{U}{s_1 + s_2 \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2} + s_3 \frac{\epsilon_1}{\epsilon_3}}$$

$$E_2 = \frac{U}{s_1 \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} + s_2 + s_3 \frac{\epsilon_2}{\epsilon_3}}$$

$$E_3 = \frac{U}{s_1 \frac{\epsilon_3}{\epsilon_1} + s_2 \frac{\epsilon_3}{\epsilon_2} + s_3}$$



الشكل 262 (عازل الطبقات)

## 5. هندسة التيار المتناوب

عدد أزواج الأقطاب p

T دور الاهتزاز s

N اللفات

n مقاسة بالوحدة 1/min

ω التردد الزاوي 1/s

f التردد Hz

$$\omega = 2\pi f$$

$$* f = \frac{1}{T} = p \frac{n}{60}$$

عند دوران جيبى زمني للقيم المتغيرة نطبق:

$$I_{med} = \frac{2}{\pi} I_{max}, \quad U_{med} = \frac{2}{\pi} U_{max}$$

القيمة الوسطية الحسابية

$$I_{max} = I\sqrt{2}; \quad U_{max} = U\sqrt{2}$$

I أو U القيمة الفعالة

$$E = 4.44 f N \Phi_{max}$$

شكل التحويل

$$\Phi_{max} = B_{max} A_{Fe}$$

$$X_L = \omega L$$

$$U_L = I \omega L$$

$$u_L = L \frac{di}{dt}$$

$$X_C = \frac{1}{\omega C}$$

$$U_C = I \frac{1}{\omega C}$$

$$i_C = C \frac{du_C}{dt}$$

المقاومة التحريضية (مقاومة العمل التحريضية)

المقاومة السعوية

## 1.5 التوصيل على التسلسل لـ R-L-C

(المقاومة الأومية، المقاومة التحريضية، المقاومة السعوية) (الشكل 263)

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$$

الممانعة الظاهرية

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}}$$

التردد الدائري - الطنين

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC}}$$

تردد الطنين

$$R_K = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

المقاومة الاسمية لدائرة الاهتزاز

$$\cos \phi = \frac{U_R}{U} = \frac{R}{Z}$$

$\phi$  زاوية إزاحة الطور

$$\sin \phi = \frac{U_{L/C}}{U} = \frac{X_L - X_C}{Z}$$

$$\rho_0 = \frac{\omega_0 L}{R} = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

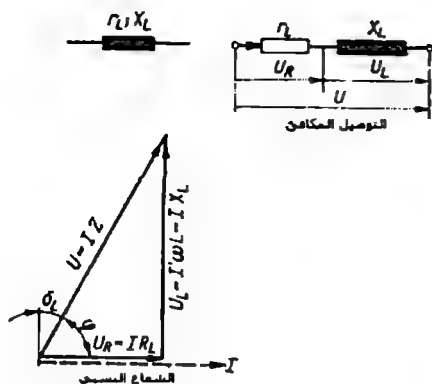
عامل الجودة

$$v = \frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} = \frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f}$$

عدم التوافق (المضاعف)

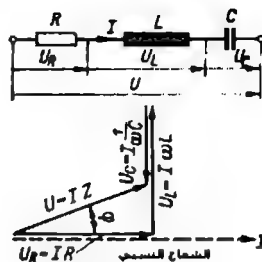
$$\frac{Z}{R} = 1 + j\rho_0 v$$

$\rho_0 v$  عدم التوافق النظامي



الشكل 264

الملفات ذات الضياعات (الشكل 264)



الشكل 263

$$\tan \delta_L = \frac{r_L}{X_L} = \frac{r_L}{\omega L}$$

$\delta_L$  زاوية الضياع للملفات  $\delta_L = 90 - \varphi$

$r_L$  المقاومة الحقيقية أو مقاومة التأثير للملفات

$X_L$  المقاومة العمياء للملفات

$$\rho_L = \frac{1}{\tan \delta_L} = \frac{\omega L}{r_L}$$

$\rho_L$  عامل الجودة، جودة الملفات

$$\cos \varphi = \frac{r_L}{Z} = \frac{r_L}{\sqrt{r_L^2 + (\omega L)^2}}$$

المكثفات ذات الضياعات

التوصيل المكافئ على التسلسل (الشكل 265)

$$\delta_C = 90 - \varphi$$

$\delta_C$  زاوية ضياع المكثفات

$$\tan \delta_C = \frac{r}{X_C} = r_C \omega C$$

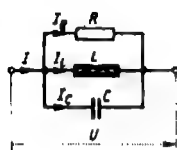
$r_C$  مقاومة التأثير

$X_C$  المقاومة العمياء



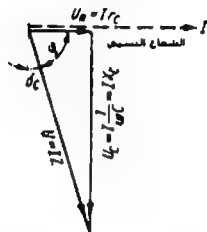
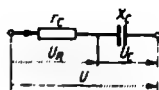
$$\rho_C = \frac{1}{\tan \delta_C} = \frac{1}{r_C \omega C}$$

$$\cos \varphi = \frac{r_C}{Z} = \frac{r_C}{\sqrt{r_C^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}}$$



الشكل 266

$\rho_C$  عامل جودة المكثف



الشكل 265

$$G = \frac{1}{R}$$

$$B_C = \frac{1}{X_C} = \omega C$$

$$Y = \frac{1}{Z}$$

$$Z = \frac{R_C}{\sqrt{1 + \omega^2 R_C^2 C^2}}$$

$$\tan \delta_C = \frac{1}{R_C \omega C}$$

$$\rho_C = R_C \omega C$$

الوصل المكافئ على التوازي

قيمة التوصيل

قيمة التوصيل العمياء

قيمة التوصيل الظاهري

المقاومة الظاهرية

$\delta_C$  زاوية ضياع المكثف

$\rho_C$  عامل الجودة

$$\tan \phi = R_C \omega C; \quad \cos \phi = \frac{1}{\sqrt{1 + \omega^2 R_C^2 C^2}};$$

تحويل مقاومة مربوطة على التسلسل إلى مقاومة على التفرع

$$R_C = r_C + \frac{1}{r_C \omega^2 C^2}$$

تكون  $R_C$  كبيرة في الضياعات الصغيرة في حالة الوصل المكافئ على التوازي وفي

الوصل على التسلسل تصبح  $r_C$  صغيرة. في حال  $r_C^2 \ll X_C^2$  نطبق  $R_C = \frac{1}{r_C \omega^2 C^2}$

## 2.5 التوصيل على التوازي لـ R-L-C

(المقاومة الأومية، المقاومة التحريضية، المقاومة السعوية) (الشكل 266)

$$I = U Y$$

$$Y = \sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\frac{1}{\omega L} - \omega C\right)^2} \quad \text{قيمة التوصيل الظاهرية}$$

$$\tan \phi = R \left( \frac{1}{\omega L} - \omega C \right)$$

$$\rho_0 = \frac{R}{\omega_0 L} = \frac{1}{\omega_0 L G} = R \sqrt{\frac{C}{L}} \quad \text{عامل الجودة}$$

$$\frac{Y}{G} = 1 + j\rho_0 v \quad \text{انظر الوصل على التوازي R-L-C}$$

(أمثلة أخرى للتوصيلات المركبة لـ R-L-C والمخططات البيانية، انظر الملحق).

## 6. الإلكترونيات

السرعة النهائية للإلكترون  $\frac{km}{s}$  (كتلة السكون  $m_0$ )  
بعد تطبيق الجهد  $U$  مقاس بالواحدة  $V$ .  
 $v_0 = 594\sqrt{U}$

الأخطاء:

50 kV حتى 5% < 10 kV حتى 1% <

100 kV حتى 10% <

$$*v = 3 \times 10^5 \sqrt{1 - \frac{1}{(1 + 1.95 \times 10^{-6} U)^2}}$$

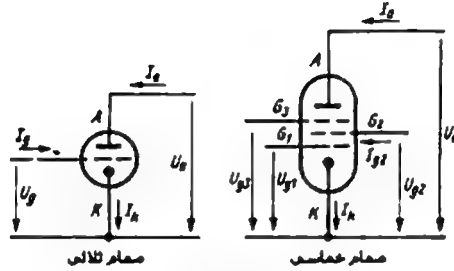
$$*E_T = 8.6 \times 10^{-5} T$$

السرعة النهائية مع عامل تصحيح Lorentz

جهد درجة الحرارة مقاسة بالواحدة V

عند درجة الحرارة K

صمامات التفوية الفراغية



الشكل 267

$$D = \frac{-\Delta U_a}{\Delta U_g}$$

$$S = \frac{\Delta I_a}{-\Delta U_g}$$

$$R_i = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a}$$

$$SDR_i = 1$$

$$\mu = \frac{1}{D}$$

النفوذية غالباً كنسبة مئوية %

$$(U_a = \text{const}) \frac{\text{mA}}{\text{V}} \text{ الانحدار}$$

مقاومة الصمامات الداخلية

$$(U_g = \text{const}) k\Omega = \frac{\text{V}}{\text{mA}}$$

معادلة Barckhausen

$$\mu = \frac{1}{D} \text{ عامل التضخيم المثالي (على فراغ)} \quad v_{K\text{max}}$$

$$v_u = \frac{1}{D} \frac{R_a}{R_i + R_a}$$

تضخيم الجهد

$$v_u \approx SR_a$$

تطبق في خماسي الأقطاب ( $R_i \gg R_a$ )، حيث  $R_i$

$k\Omega$  و  $R_a$  —  $k\Omega$

$$v_x = 0.9 \frac{1}{D}$$

تطبيق في ثلاثي الأقطاب ( $R_a \approx 10 R_i$ )

$$k = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + \dots}}{\sqrt{I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + \dots}}$$

عامل الترشيح

الاهتزاز المتخامد:  $a^2 < \omega_0^2$

$$a = \frac{R}{2L}$$

عنصر التخامد

$$\omega = 2\pi f = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}$$

$$= \sqrt{\frac{1}{LC} - a^2}$$

التردد الزاوي

$$\omega \approx \frac{1}{\sqrt{LC}} = \omega_0$$

$$a^2 \ll \frac{1}{LC}$$

$$\mu_C = U_0 e^{-at} \left( \cos \omega t + \frac{a}{\omega} \sin \omega t \right)$$

جهد المكثف

$$\approx U_0 e^{-at} \cos \omega_0 t$$

$$\frac{a}{\omega} \approx 0$$

$$= -C \frac{du_C}{dt} = \frac{U_0}{\omega L} e^{-at} \sin \omega t$$

تيار إفراغ الشحنة

$$\approx I_0 e^{-at} \sin \omega_0 t$$

من أجل التوابع e انظر الجدول (28)

## تبعية التردد

$$\eta = \frac{\omega}{\omega_0} = \omega \sqrt{LC}$$

نسبة التردد

$$\sqrt{\frac{L}{C}} = Z, \Rightarrow \omega L = \eta Z;$$

$$\omega C = \frac{\eta}{Z}$$

$$\sin \theta = \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} = \frac{R}{2Z}$$

$\theta$  زاوية تخامد التيار ( $R < 2Z$ )

$$2\pi \tan \theta$$

تناقص التخامد (اللورغاريتمي)

$$2\pi \theta$$

التناقص لزوايا الإخماد الصغيرة

$$I = \frac{1}{2 \sin \theta + \left( \eta - \frac{1}{\eta} \right) \frac{E}{Z}}$$

معادلة التيار

$$I = \frac{1}{\sqrt{4 \sin^2 \theta + \left( \eta + \frac{1}{\eta} \right)^2}} \frac{E}{Z}$$

تبعية تردد القيمة

$$I_{\max} = \frac{E}{2Z \sin \theta} = \frac{E}{R}$$

شدة التيار الأعظمية

مع

$$\eta - \frac{1}{\eta} = \pm 2 \sin \theta$$

عزم التوافقية (المضاعف)

يصبح

$$I = \frac{1}{2\sqrt{2} \sin \theta} \frac{E}{Z}$$

$$= \frac{|I|_{\max}}{\sqrt{2}} = 70.7\% |I|_{\max}$$

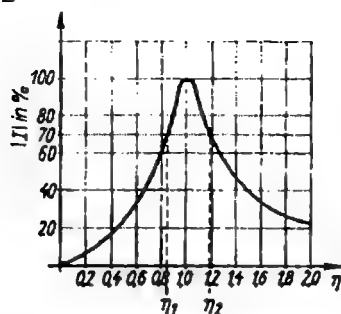
$$\eta_2 = \sin \theta + \sqrt{1 + \sin^2 \theta}$$

(الشكل 268)

$$\eta_1 = -\sin \vartheta + \sqrt{1 + \sin^2 \vartheta}$$

$$\omega_2 - \omega_1 = 2\omega_0 \sin \vartheta = \frac{R}{L}$$

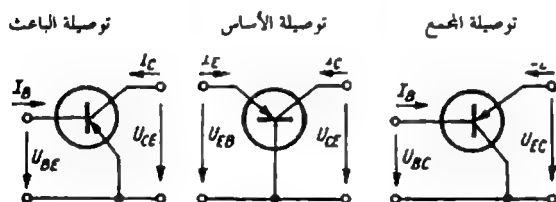
عرض نصف القيمة



الشكل 268

## الترانزستورات

### التوصيلات الأساسية للترانزستورات



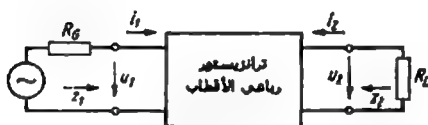
الشكل 269

### الخواص المميزة للتوصيلات الرئيسية

توصيلة المجمع	توصيلة القاعدة	توصيلة الباعث	مقاومة الدخل
كبير	صغير	متوسط	$Z_i$
$Z_{ic} \approx \beta R_L$	$Z_{ib} \approx \frac{Z_{ie}}{\beta}$	$Z_{ie}$	

توصيلة الباعث	توصيلة القاعدة	توصيلة المجموع	
كبير	كبير جداً	صغير	مقاومة الخرج $Z_2$
$Z_{2E}$	$Z_{2B} \approx Z_{1E} \beta$	$Z_{2C} \approx \frac{Z_{1E} + R_G}{\beta}$	
كبير	$< 1$	كبير	تضخيم التيار
$\beta$	$\alpha \approx \frac{\beta}{\beta + 1}$	$\gamma \approx \beta + 1$	
كبير	كبير	$< 1$	تضخيم الجهد
كبير جداً	كبير	متوسط	تضخيم الاستطاعة
منخفض	عالي	منخفض	التردد الحدي
$f_\beta$	$f_\alpha \approx f_\beta \beta$	$\approx f_\beta$	

ترانزيستور كرباعي أقطاب خطي (مضخم إشارة صغيرة)، الوصف لمستغيرات  $h$  (الشكل 270)

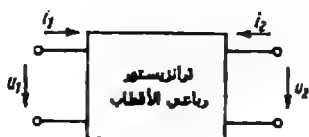


الشكل 270

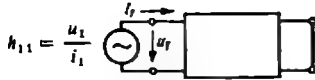
معادلة رباعي الأقطاب بشكل هجين،

الشكل المختلط (الشكل 271)

$$\Delta h = h_{11}h_{22} - h_{12}h_{21}$$

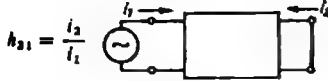


الشكل 271



$u_2 = 0$  مقاومة الدخل عند قصر الخرج ( $\Omega$ )

الشكل 272



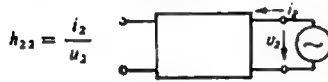
$u_2 = 0$  تضخيم التيار عند قصر الخرج

الشكل 273



$i_1 = 0$  تأثير إرجاعي للجهد عند الحمل  
على فراغ الدخل

الشكل 274



$i_1 = 0$  قيمة توصيل الخرج عند حمل على  
الفراغ على المدخل (mS)

الشكل 275

$$S = \frac{h_{21}}{h_{11}} = \frac{i_2}{u_1} \Big|_{u_2=0}$$

الانحدار الستاتيكي

$$R_i = \frac{h_{11}}{\Delta h} = \frac{u_2}{i_2} \Big|_{u_1=0}$$

مقاومة الدخل التفاضلية

$$D = \frac{\Delta h}{h_{21}} = -\frac{u_1}{u_2} \Big|_{i_2=0}$$

النقوذ الهندسي

حساب بالمتغيرات  $h$  (انظر الشكل 270)

$$Z_1 = \frac{u_1}{i_1} = \frac{h_{11} + \Delta h R_L}{1 + h_{22} R_L}$$

ممانعة الدخل

$$Z_2 = \frac{u_2}{i_2} = \frac{h_{11} + R_G}{\Delta h + h_{22} R_G}$$

ممانعة الخرج

$$V_U = \frac{u_2}{u_1} = \frac{-h_{21} R_L}{h_{11} + \Delta h R_L}$$

تضخيم الجهد



$$V_1 = \frac{i_2}{i_1} = \frac{h_{21}}{1 + h_{22}R_L}$$

تضخيم التيار

$$V_p = \frac{u_2 i_2}{u_1 i_1} = \frac{|h_{21}|^2 R_L}{(1 + h_{22}R_L)(h_{11} + \Delta h R_L)}$$

تضخيم الاستطاعة (في الترددات المنخفضة ومتغيرات حقيقية  $h$ ، فيما عدا ذلك عوامل نقل)

$$V_{P_{max}} = \frac{4h_{21}^2 R_G R_L}{[(1 + h_{22}R_L)R_G + h_{11} + \Delta h R_L]^2}$$

$$V_{p_{opt}} = \left( \frac{h_{21}}{\sqrt{\Delta h + \sqrt{h_{11}h_{22}}}} \right)^2$$

تضخيم الاستطاعة (عند التوافق في الدخل)

تضخيم الاستطاعة (عند التوافق في الدخل والخرج)

$$R_G = Z_1 = \sqrt{\frac{h_{11}}{h_{22}} \Delta h}$$

التوافق عند الدخل

$$R_L = Z_2 = \sqrt{\frac{h_{11}}{h_{22}} \frac{1}{\Delta h}}$$

التوافق عند الخرج

## 7. الاستطاعات

$$P = UI \quad \text{تيار مستمر}$$

$$P = UI \cos \varphi \quad \text{تيار متناوب}$$

$$Q = UI \sin \varphi \quad \text{الشكل (276)}$$

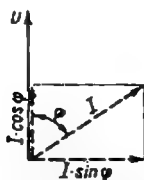
$$S = UI$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

استطاعة التأثير

استطاعة المهينة

الاستطاعة الظاهرية



الشكل 276

$$P = \sqrt{3}UI \cos \phi \quad \text{التيار الدائر}$$

استطاعة التأثير

$$Q = \sqrt{3}UI \sin \phi$$

استطاعة العمى

$$S = \sqrt{3}UI$$

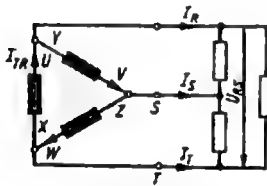
الاستطاعة الظاهرية

(التوصيل المثلثي 278)

$$U = \sqrt{3}U_N \quad U = U_N$$

$$I = I_{st} \quad I = \sqrt{3}I_{st}$$

$$I_R = I_S = I_T = I; \quad I_N = 0$$



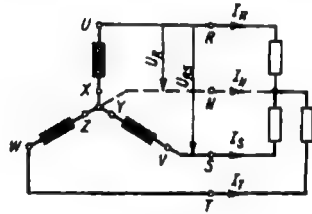
الشكل 278

(الشكل 277) التوصيل النجمي

$$U_N \quad \text{جهد الناقل} \quad U$$

$$I_N \quad \text{تيار الناقل} \quad I$$

في الحمل المتناظر



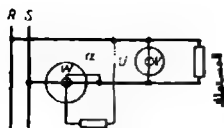
الشكل 277

قياسات الاستطاعة في التيار المتناوب والتيار المستمر  
التيار المتناوب

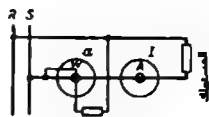
$$P_{\text{cons.}} = P - I^2 (R_{\text{int}} + R_l)$$

$$P_{\text{cons.}} = P - \frac{U^2}{R_{\text{volt}} + R_U}$$

$$P = c\alpha$$



الشكل 280



الشكل 279

تصحیح قيمة الاستطاعة المقاسة عند قياس الاستطاعات الصغيرة (تحت 1 kW)

c ثابت مقياس الاستطاعة  $\alpha$  إزاحة العداد

$P_{\text{cons}}$  استطاعة الاستهلاك U الجهد I التيار

$R_{\text{volt}}$  مقاومة درب الجهد لمقياس الاستطاعة

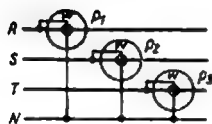
$R_{\text{volt}}$  مقاومة درب التيار لمقياس الاستطاعة

$R_U$  مقاومة درب الجهد لمقياس الجهد

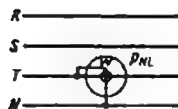
$R_I$  مقاومة درب التيار لمقياس التيار

### التيار المستمر

نظام - الناقل الرباعي



الشكل 281b



الشكل 281a

$$P = 3 P_{NL}$$

الحمل المتناظر (الشكل 281a)

$$P = P_1 + P_2 + P_3$$

الحمل غير المتناظر (الشكل 281b)

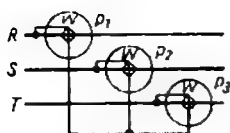
نظام الناقل الثلاثي

$$P = 3 P_{NL}$$

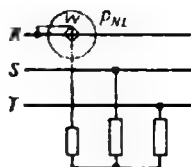
الحمل المتناظر (الشكل 282)

$$P = P_1 + P_2 + P_3$$

الحمل غير المتناظر (الشكل 283)



الشكل 283



الشكل 282

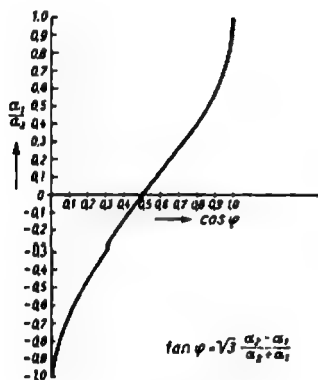
نظام - الناقل الثلاثي، حمل بأي حمل (الشكل 284)

$$P = C(\alpha_2 \pm \alpha_1)$$

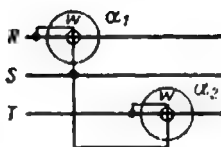
طريقة - ثنائي مقياس الاستطاعة

$$P = P_2 \pm P_1$$

"توصيلة Aron"



الشكل 285



الشكل 284

$\alpha_1$  تصبح سالبة عندما تكون زاوية الطور  $< 60^\circ$ ، ضمن حقل الجهد لتحويل الأقطاب أو مجال التيار (عند الحمل السعوي ينبغي تبديل دليل إزاحة الجهاز في الشكل بحيث يكون دائماً  $\alpha_2 \geq \alpha_1$ ) (الشكل 285)

## 8. المحولات (الشكل 286)

الدليل 1 يعني قيم الملف الأولي

$N_1, N_2$  اللفات

$f$ : التردد بـ Hz

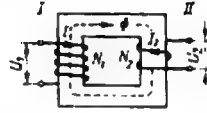
$\Phi$  القيمة الأعظمية للتدفق المغناطيسي

الدليل 2 يعني قيم الملف الثانوي

صنع المحول

$$E = 4.44 f N \Phi_{\max}$$

$$= 4.44 f N B_{\max} A_{Fe}$$



الشكل 286

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

$$B = \mu_r \mu_0 H = \frac{\Phi}{A_{Fe}}$$

$$\mu_0 = 1.257 \times 10^{-8} \text{ Vs/Acm}$$

عند إهمال ضياعات المحولة نطبق

التحريض المغناطيسي

$A_{Fe}$  مقطع الحديد

$m_{Fe}$  كتلة الحديد

$$P_{Fe} \approx 1.25 v m_{Fe}$$

ضياعات تحويل المغنطة

$v$  رقم الضياع

$$P_{Cu} = I_1^2 R_K = U_K I_1$$

الضياعات الحرارية للتيار

$$R_K = R_1 + R_2 \left( \frac{N_1}{N_2} \right)^2$$

مقاومة القصر

$$U_K = \frac{P_{Cu}}{I_1} = I_1 R_K$$

جهد القصر

$$u_K = \frac{I_1 R_K}{U_1} 100\%$$

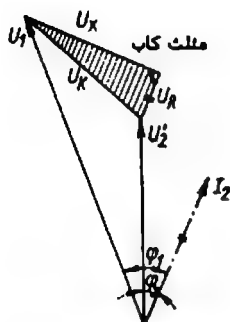
جهد القصر (النسي)

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + P_{Fe} + P_{Cu}} 100\%$$

مردود المحول (الشكل 287)

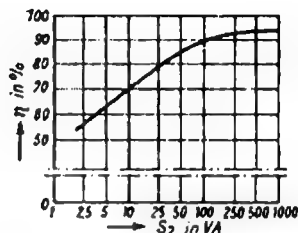
$$U_K = U_1 - U_2' = U_1 - U_2 \frac{N_1}{N_2}$$

هبوط الجهد (الشكل 288)



الشكل 288

مثلث هبوط الجهد



الشكل 287

المردود

$$u_K = \frac{U_1 - U_2'}{U_1} 100\%$$

هبوط الجهد المثوي

$$u_K = u_R \cos \phi_2 + u_S \sin \phi_2$$

$u_R$  هبوط الجهد الأومي مقاسة بالوحدة %

$$u_K = \frac{U_{IK}}{U_{1nom}} 100\%$$

قصر الجهد (النسي)

$$I_{IK} = I_{1nom} \frac{100}{u_K}$$

قصر التيار (عند  $U_{IK} = U_{1nom}$ )

نوع الاستطاعة

المحولات الاقتصادية

عندما  $U_2 > U_1$

$$P_T = U_2 I_2 \left( 1 - \frac{U_1}{U_2} \right)$$

عندما  $U_2 < U_1$

$$P_T = U_2 I_2 \left( 1 - \frac{U_2}{U_1} \right)$$



# هندسة التحكم

## 1. الوصف

هندسة التحكم، مصطلحات وتعريف:

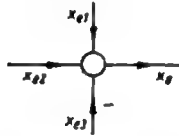
$$x_e = x_{e1} = x_{e2} = x_{e3}$$



تفرع الإشارة إلى جريان الإشارة

الشكل 289

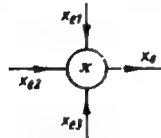
$$x_a = x_{e1} + x_{e2} - x_{e3}$$



عقدة الجمع في جريان الإشارة

الشكل 290

$$x_a = x_{e1} \cdot x_{e2} \cdot x_{e3}$$



عقدة الضرب

الشكل 291

$$x_a = \frac{x_{e1}}{x_{e2}}$$



عقدة القسمة

الشكل 292





الشكل 293

عنصر النقل الخطي بعدة مداخل



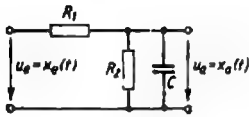
الشكل 294

عنصر غير خطي

## 1.1 سمات عناصر النقل

يتم الوصف عبر معادلة الإشارة. جواب القفزة  $x_a(t)$  أو عامل التحويل  $h(t)$ ، مدخل التردد المركب  $F(j\omega)$  أو تابع الانتقال  $G(p)$ . (انظر الجدول 31) في الملحق.

إيجاد معادلة الإشارة عن طريق مدخل التردد



الشكل 295

مثال: إن تصرف  $P_1$  بشكل شبكة كهربائية (سلوك نسبي مع تباطؤ ذو درجة أولى).

$$F(j\omega) = \frac{u_a(j\omega)}{u_e(j\omega)} = \frac{\frac{R_2}{R_1 + R_2}}{\frac{R_2}{R_1 + R_2} R_1 C j\omega + 1}$$

مع  $K = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$  و  $T = KR_1C$  ينتج الشكل العام:

$$F(j\omega) = \frac{x_a(j\omega)}{x_e(j\omega)} = \frac{K}{Tj\omega + 1}$$

مدخل التردد المركب

$$F(j\omega) = |F(j\omega)| e^{j\varphi(\omega)}$$

التحليل إلى قسم تخيلي وحقيقي

$$= \frac{K}{1 + \omega^2 T^2} - j \frac{\omega T}{1 + \omega^2 T^2}$$

$$(Tj\omega + 1) x_a = Kx_e$$

ينتج من مدخل التردد مع محلل تفاضلي

$$T\dot{x}_a(t) + x_a(t) = Kx_e(t)$$

$$\frac{d}{dt} = j\omega \text{ معادلة الإشارة}$$

وتابع الانتقال ( $p = j\omega$ )

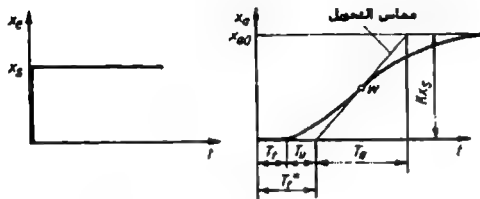
$$G(p) = \frac{X_a(p)}{X_e(p)} = \frac{K}{T_p p + 1}$$

$$h(t) = \frac{x_a(t)}{x_s} = L^{-1} \left\{ \frac{G(p)}{p} \right\}$$

تابع الانتقال من أجل

$$x_e(t) = \begin{cases} 0 & \text{من أجل } t < 0 \\ x_s = \text{const.} & \text{من أجل } t \geq 0 \end{cases}$$

من جواب القفزة يمكن إيجاد القيم:



الشكل 296

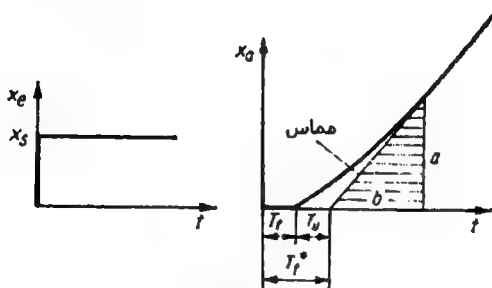
$T_i$  الزمن الميت

$T_u$  زمن التأخير

$T_s$  زمن التعادل

$T_i^*$  زمن المكافئ

1 - عنصر مع زمن ميت



الشكل 297

$$K_1 = \frac{a/b}{x_s}$$

عامل الانتقال التكاملي (منسوب على سرعة التغير في الحالة الساكنة)

$$T_i^* = T_i + T_u$$

زمن المكافئ

عناصر - P: وصف متقارب من خلال  $T_a$ ،  $T_i^*$ ، K (الشكل 296)  
عناصر - I: وصف متقارب من خلال  $T_i$ ،  $K_i$  (الشكل 297)

## 2.1 سمات عناصر الانتقال أثناء التوصيل المتسلسل بانتظام

(a) عدة عناصر تباطؤ:  $T_i^* \approx \sum_{i=1}^n T_{ki}$

النظام الأول ومنه واحداً مع ثابت زمني كبير نسبياً  $T_g$

والباقى مع ثابت زمني صغير نسبياً  $T_{k1}, T_{k2}, \dots, T_{kn}$

حيث  $T_{ki} < 0.05 T_g$

(b) عنصري تباطؤ، ذو ترتيب عشوائي مع زمن ميت

مكافئ:  $T_{i1}^*$  و  $T_{i2}^*$  وأزمنة التعادل  $T_{a1}$  و  $T_{a2}$ ، حيث ثوابت

الزمن  $T_{a1}, T_{a2} = (0.05 \dots 1.0) T_g$  (C من الجدول 30)

الجدول 30

$\frac{T_{a1}}{T_{a2}}$	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4	0.6	0.8	1.0
c	0.75	0.63	0.53	0.47	0.42	0.36	0.32	0.28

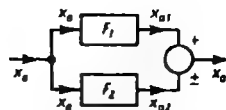
سلوك (المسافة):  $\frac{T_g}{T_i^*}$   $\left\{ \begin{array}{l} \text{قابل للتحكم بشكل جيد } > 10 \\ \text{قابل للتحكم بشكل معقول } \approx 6 \\ \text{قابل للتحكم بشكل سيء } < 3 \end{array} \right\}$  مع دائرة تحكم ذات دورة واحدة

## 2. توصيلات عناصر الانتقال

الجدول 32

$F = F_1 F_2$	
---------------	---

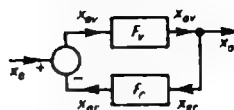
$$F = F_1 + F_2$$



$$F = \frac{1}{\frac{1}{F_v} + F_r}$$

$$F = \frac{F_v}{1 + F_v F_r}$$

$$F \approx \frac{1}{F_r} \text{ من أجل } F_v \rightarrow \infty$$



$F_v$  عنصر التقديم

$F_r$  عنصر التأخير

### 3. قواعد الضبط (التعيني)

$K_{crit}$  عامل الانتقال الحرج

قيم الضبط للمنظم - PID حسب

(الجدول 33) Ziegler-Nichols

$T_{crit}$  زمن الدورة للاهتزاز الدائم

بيانات التعريف للمسافة غير معروفة

الجدول 33

المنظم	$K_R$	$T_i$	$T_D$
P	$0.50 K_{crit}$	-	-
PI	$0.45 K_{crit}$	$0.85 T_{crit}$	-
PID	$0.60 K_{crit}$	$0.50 T_{crit}$	$0.12 T_{crit}$

$T_i$  الزمن الميت

الضبط المناسب للمنظمات في المسافات

$T_s$  زمن التعادل

مع توازن حسب Oppelt (الجدول 34)،

$T_u$  زمن التأخير

بيانات التعريف للمسافة غير محددة

$K_R$  عامل انتقال المنظم

$K_S$  عامل انتقال المسافة

### الجدول 34

النظم	$K_R$	$T_i$	$T_D$
P	$\frac{T_a}{(T_i + T_u)K_S}$	-	-
PI	$0.8 \frac{T_a}{(T_i + T_u)K_S}$	$3(T_i + T_u)$	-
PD	$1.2 \frac{T_a}{(T_i + T_u)K_S}$	-	$0.25(T_i + T_u)$
PID	$1.2 \frac{T_a}{(T_i + T_u)K_S}$	$2(T_i + T_u)$	$0.42(T_i + T_u)$

### 4. بديهيات الاستقرار حسب Hurwitz

(كل العوامل  $a_i \neq 0$  ولها نفس الإشارة)

### الجدول 35

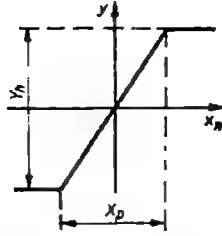
ترتيب المعادلات	المعادلة المميزة والمقارنة التابعة لها	شروط الاستقرار
1	$a_1\lambda + a_0 = 0$	بنية مستقرة
2	$a_2\lambda^2 + a_1\lambda + a_0 = 0$	بنية مستقرة
3	$a_3\lambda^3 + a_2\lambda^2 + a_1\lambda + a_0 = 0$	$a_3a_0 - a_2a_1 < 0$
4	$a_4\lambda^4 + a_3\lambda^3 + a_2\lambda^2 + a_1\lambda + a_0 = 0$	$a_4a_1^2 + a_3^2a_0 - a_1a_2a_1 < 0$

### 5. المنظمات الخطية الدائمة

النظم التناسلي - P (الشكل 298)

$$K_R = \frac{y}{x_w} = \frac{Y_h}{X_p}$$

عامل الانتقال يطبق فقط في المجال النسي



الشكل 298

$\left. \begin{array}{l} \text{(في الوحدات لقيم المنظم أو} \\ \text{محيط المقياس)} \end{array} \right\}$	$X_p$	بجال التناسب
	$Y_h$	بجال التعيير الكلي
	$x_w$	انحراف المنظم
	$y$	قيمة التعيير

المنظم التكاملي - 1 (الشكل 299)

$$K_I = \frac{\dot{y}}{x_w}$$

عامل الانتقال التكاملي

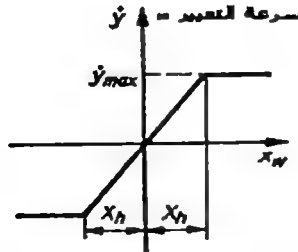
$$\dot{y}_{\max} = K_I X_h = \frac{Y_h}{T_y}$$

$X_h$  بجال التشغيل (هذا التغير يبدأ بسرعة التغير من الصفر حتى القيمة العظمى)

$$\dot{y} = \frac{Y_h}{T_y X_h} x_w$$

$T_y$  زمن التعيير في هذا الزمن يعمل بجال التعيير عند أكبر ما يمكن لسرعة التعيير

$$T_y = \frac{x_w}{\dot{y}} = \frac{1}{K_I}$$



الشكل 299

### المنظم PI - الشكلين (300 و 301) تناسبي - تكاملي

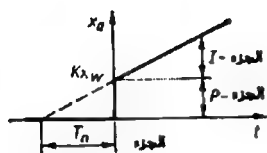
$$y = K_R x_w + K_I x_{wt}$$

$$T_I = \frac{K_R}{K_I}$$

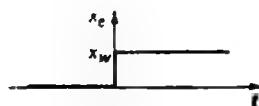
جواب القفزة —  $x_w = \text{const}$

$T_I$  زمن التكامل في المنظمات

$T_n$  زمن التعبير اللاحق



الشكل 301



الشكل 300

$$y = K_R \left( x_w + \frac{1}{T_n} \int x_w dt \right)$$

معادلة المنظم PI العامة

$$x_a = K(x_e + K_I \int x_e dt)$$

$$G(p) = K + \frac{K_I}{p}$$

انظر أيضاً الجدول 36

### المنظم PD - الشكل (302) تناسبي - تفاضلي

$$x_a = K(x_e - T_D \dot{x}_e) \quad \text{المعادلة العامة } G(p) = K(1 + T_D p), \text{ انظر الجدول (36)}$$

$$x_a = K(x_e + T_D \dot{x}_e)$$

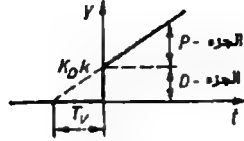
$$T_D = \frac{K_D}{K}$$

$T_D$  زمن التفاضل عند المنظم

$T_v$  زمن الإيقاف الأولي

$$y = K_R(kt + T_v k) = Kk(t + T_v) \quad \text{جواب التزايد — } x_w = kt \text{ (تزايد خطي عند}$$

المدخل)

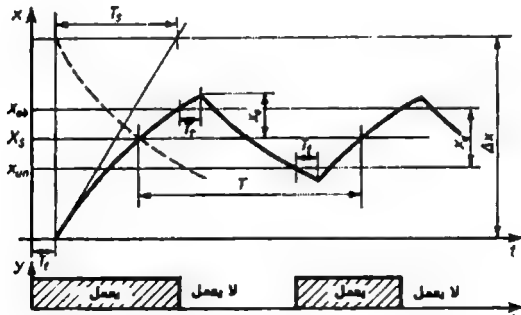


الشكل 302

## 6. المنظمات غير الدائمة

منظم ثنائي النقط على مسافات مع موازنة  
(في مجال  $x \pm x_0$  تقترب حركة العمل عن طريق الاستقلال الخطي)

$$T = 4T_1 + 4 \frac{x_d T_s}{\Delta x} \quad \text{مدة الاهتزاز لخلوص المنظم (الشكل 303)}$$

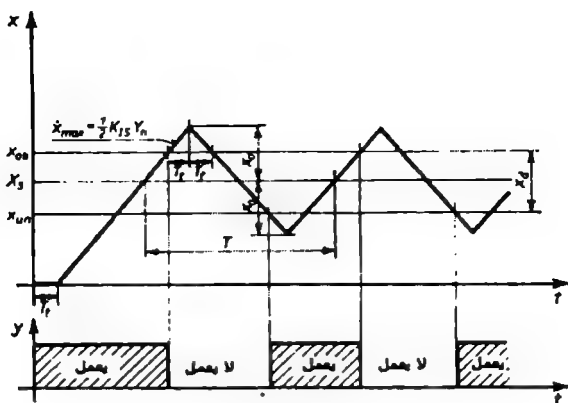


الشكل 303

$$f_s = \frac{1}{T} \quad \text{تردد التوصيل}$$

$$x_0 = \frac{T_1}{2T_s} \Delta x + \frac{1}{2} x_d \quad \text{سعة حركة العمل للمسافة بدون موازنة (الشكل 304)}$$





الشكل 304

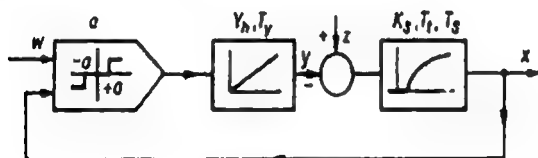
$$T = 4T_i + 4 \frac{x_d}{K_{IS} Y_h}$$

الزمن الدوري لخلوص المنظم

$$x_0 = \frac{1}{2} K_{IS} Y_h T_i + \frac{1}{2} x_d$$

سعة حركة العمل

منظم ذو حركتين (شبيه للمنظم - 1) (شكل 305)



الشكل 305

زمن الضبط  $T_y$ ، مجال الضبط  $Y_h$ ، قيمة توافقية  $a$

$$\left( \frac{y}{a} \right)_{crit} \approx \begin{cases} \frac{2}{K_S T_i} & \text{من أجل } \frac{T_S}{T_i} \approx 20 \\ \frac{1}{K_S T_i} & \text{من أجل } \frac{T_S}{T_i} \approx 10 \end{cases}$$

$$\left(\frac{y}{a}\right)_{\text{المولفة}} \approx \begin{cases} \frac{1}{K_S T_I} & \text{من أجل } \frac{T_S}{T_I} \approx 20 \\ \frac{1}{2K_S T_I} & \text{من أجل } \frac{T_S}{T_I} \approx 10 \end{cases}$$

$$v = \frac{Y_h}{T_y}$$

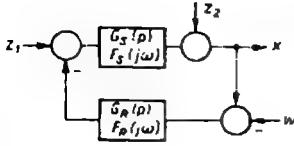
سرعة التعمير

## 7. الإرجاع (الإعادة)

الجدول 36

سلوك الإرجاع (عنصر متقدم هو مضخم مع تضخيم $\leftarrow \infty$ )		سلوك الزمن للتوصيل الكلي	
الشرح	$G_v \rightarrow \infty$ من أجل $G_r(p) = \frac{1}{G(p)}$	تابع النقل $G(p)$	الرمز
قاس	$K_r = \frac{1}{K}$	K	P
متأخر	$\frac{K_r p}{T_r p + 1} = \frac{\frac{T_I}{K} p}{T_I p + 1}$	$K \left( 1 + \frac{1}{T_I p} \right)$	PI
متباطئ	$\frac{K_r}{T_r p + 1} = \frac{\frac{1}{K}}{T_D p + 1}$	$K(1 + T_D p)$	PD
متباطئ ومتأخر	$\frac{K_r p}{T_2^2 p^2 + T_I p + 1} = \frac{\frac{T_I}{K} p}{T_I T_D p^2 + T_I p + 1}$	$K \left( 1 + \frac{1}{T_I p} + T_D p \right)$	PID

## 8. المنظم الدائري الخطي الدائم الحلقي



الشكل 306

$z_1$  تشويش التغذية

$z_2$  تشويش الحمل

$w$  تغيير قيم القيادة

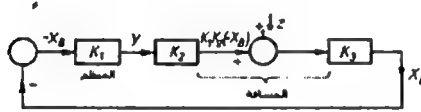
[التعليل (p) أو (jω)]

$$x(p) = \frac{G_S(p)z_1 + z_2 + G_S(p)G_R(p)w}{1 + G_S(p)G_R(p)};$$

$$x(j\omega) = \frac{F_S(j\omega)z_1 + z_2 + F_S(j\omega)F_R(j\omega)w}{1 + F_S(j\omega)F_R(j\omega)}$$

الانحراف المتبقي في المنظم  $X_B$

تشويش في المسافة (فقط عناصر - P، شكل 307)



الشكل 307

$$x_0 = K_3 z$$

انحراف القاعدة دون تحكم (تضخيم الدارة)

$$V_0 = K_1 K_2 K_3$$

$$X_B = \frac{K_3 z}{1 + K_1 K_2 K_3} = \frac{1}{1 + V_0} x_0$$

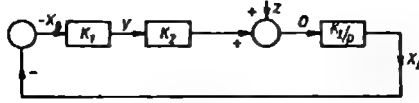
$$R = \frac{X_B}{x_0} = \frac{1}{1 + V_0}$$

عامل المنظم

تشويش قبل العنصر - I

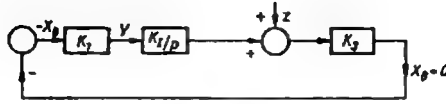
$$X_B = \frac{z}{K_1 K_2}$$

الانحراف المتبقي في المنظم



الشكل 308

تشويش بعد العنصر 1



الشكل 309

(نظرياً)  $x_B = 0$

الانحراف المتبقي في المنظم (الشكل 309)

$$\delta = \frac{\dot{x}_a}{KK_1}$$

خطأ السرعة

## 9. تحويلات Laplace

### 1.9 قواعد الحساب والتطابق

الجملة الخطية

$$Af(t) \circ \bullet AF(p)$$

الضرب مع عامل ثابت وجملة التقاطع

$$f_1(t) + f_2(t) + \dots + f_n(t)$$

تطبق في مجال الزمن والشكل

$$o \bullet F_1(p) + F_2(p) + \dots + F_n(p)$$

$$f(at - t_1) \circ \bullet \frac{1}{a} e^{-t_1 p} F\left(\frac{p}{a}\right)$$

الإبدال الخطي

جملة الإزاحة من أجل  $t_1 > 0$

في المجال العلوي  $t_1 > 0$  حقيقي  $a > 0$

جملة التشابه من أجل  $t_1 = 0$

$$F(ap + b) \circ \bullet \frac{1}{a} e^{-\frac{b}{a} t} f\left(\frac{t}{a}\right)$$

الإبدال الخطي

في المجال السفلي  $a > 0$

من أجل  $b = 0$

قانون التشابه

(الجدول 37) مطابقات تحويلات Laplace

المجال السفلي المجال الشكلي $F(p)$	المجال العلوي المجال الزمني $f(t) (t \geq 0)$	التابع
1	$\delta(t)$	نبضة ديراك
$\frac{1}{p}$	$1(t)$	قفزة واحدة
$\frac{1}{(p - p_0)^n}$	$\frac{t^{n-1} e^{p_0 t}}{(n-1)!}$	التابع الأسّي
$\frac{\omega_0}{p^2 + \omega_0^2}$	$\sin \omega_0 t$	اهتزاز توافقي غير متخامد
$\frac{p}{p^2 + \omega_0^2}$	$\cos \omega_0 t$	
$\frac{1}{p - p_0}$	$e^{p_0 t}$	بعض الاشتقاقات من المطابقات العلوية
$\frac{1}{p + p_0}$	$e^{-p_0 t}$	
$\frac{1}{p^2}$	$t$	
$\frac{2}{p^3}$	$t^2$	
$\frac{n!}{p^{n+1}}$	$t^n; n \geq 0$	
$\frac{e^{-top}}{p}$	$f(t) = \begin{cases} 0 & \text{من أجل } t < t_0 \\ 1 & \text{من أجل } t \geq t_0 \end{cases}$	تبدأ القفزة الواحدة من الزمن $t_0 > 0$

## قانون التفاضل

$$f(t) \quad o \bullet F(p)$$

$$f(t) \quad o \bullet pF(p) - f(+0)$$

$$f'(t) \quad o \bullet p^2F(p) - pf(+0) - f(+0)$$

.....

$$f^{(n)}(t) \quad o \bullet p^n F(p) - p^{n-1}f(+0) - p^{n-2}f(+0) - \dots - pf^{(n-2)}(+0) - f^{(n-1)}(+0)$$

الخ

تبسط إلى

$$f(t) \quad o \bullet F(p)$$

$$f(t) \quad o \bullet pF(p)$$

$$f'(t) \quad o \bullet p^2F(p)$$

.....

$$f^{(n)}(t) \quad o \bullet p^n F(p)$$

عندما تكون كافة الشروط الابتدائية

للتابع الزمني تساوي الصفر

إن التفاضل في المجال الزمني يطابق فقط

جداً تابع الشكل مع  $p$

قانون التكامل

$$\int_0^t f(t) dt \quad o \bullet \frac{1}{p} F(p)$$

يطابق التكامل في المجال الزمني القسمة

على  $p$  لتابع الشكل.

قوانين النهايات

$$\lim_{t \rightarrow +0} h(t) = \lim_{p \rightarrow +\infty} G(p) = \lim_{\omega \rightarrow +\infty} F(j\omega)$$

$$\lim_{t \rightarrow +\infty} h(t) = \lim_{p \rightarrow +0} G(p) = \lim_{\omega \rightarrow +0} F(j\omega)$$



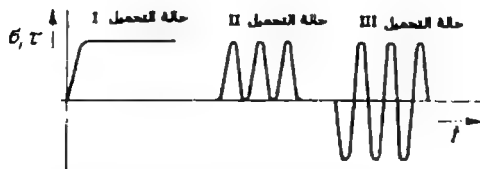
# تصميم الآلات

## المقدمة (المدخل)

تشمل الصيغ الهندسية لعلم تصميم الآلات على :

1. حساب قيم التوابع: مثلاً: القوى، العزوم الاستطاعات، السرعة، التسارعات.
2. حساب القيم التصميمية: مثلاً: الأبعاد حسب تأثير الإجهادات.
- إن قابلية الحمل للمادة، يُعبر عنها نوعياً من خلال قيم المثانة والإجهادات للمادة، وتتفرع من أجل الحساب بشكل أساسي إلى ثلاثة أقسام:

1. حساب المشروع حساب بشكل غير مباشر للأبعاد
  2. إثبات الإجهاد أو إثبات الأمان حساب الإجهاد المتولد (الأمان) ومقارنة مع الإجهاد المسموح به (الأمان المطلوب).
  3. حساب قابلية التحميل حساب الحمل الأعظمي المطبق.
- بالإضافة لذلك قيم عملية للإجهاد المسموح حسب حالات التحميل، الجدول 38 والشكل 310.



الشكل 310 مخطط الحمولة لحالات التحميل



يتم غالباً تطبيق الحساب مع عوامل أمان أولية، بدلاً من الإجهادات المعطاة المسموح بها.

في الإجهادات الستاتيكية (انسيابية)

$$S_B = \frac{\sigma_B}{\sigma}$$

الأمان مقارنة مع الانهيار القسري في

الإجهاد الطبيعي

$$S_B = \frac{\tau_B}{\tau}$$

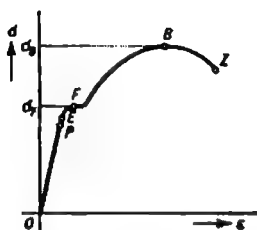
الأمان مقارنة مع الانهيار الطبيعي في

الإجهاد الناطقي 4 ... 3  $S_B$

$\sigma_B$ ,  $\tau_B$  متانة الانهيار (الانكسار)

(مثلاً من مخطط الاجهاد والانفعال،

الشكل 311)



الشكل 311 مخطط الإجهاد والانفعال

(الجدول 38) القيم العملية للإجهادات المسموح بها

في الميكانيك (تصميم الآلات) بشكل عام (حسب Tauscher)

(1) الإجهاد المسموح به $\frac{N}{mm^2}$				حالة التحميل	مادة الفولاذ
الشد والانضغاط	الانعطاف	القصر	القتل والانسحاب		
110	115	90	60	I	St 34
92	95	74	52	II	
50	60	40	33	III	
120	130	96	70	I	St 38
96	110	77	60	II	
55	70	45	40	III	
125	150	100	80	I	St 42
110	130	87	70	II	
65	85	50	43	III	

الإجهاد المسموح به $\frac{N}{mm^2}$ (1)				حالة التحميل	مادة الفولاذ
الشد والانضغاط	الانعطاف	القص	الفتل والانسحاب		
155	180	125	95	I	St 50
135	160	110	83	II	
75	105	60	54	III	
180	210	145	110	I	St 60
160	185	125	95	II	
85	120	70	62	III	
210	245	170	130	I	St 70
175	220	140	115	II	
100	135	80	75	III	
110	130	90	66	I	GS 38
85	100	70	50	II	
50	60	40	27	III	
130	145	110	77	I	GS 45
90	120	80	61	II	
60	70	50	36	III	

1)  $1 \text{ N/mm}^2 = 1 \text{ MPa} = 10 \text{ kp/cm}^2$

الإجهاد المسموح به $\frac{N}{mm^2}$				حالة التحميل	المادة من الحديد الصلب
الشد القص والانزلاق	الضغط	الانعطاف (2)	الفتل (2)		
40	100	40 ... 70	25 ... 50	I	GG 12
35	80	35 ... 50	22 ... 45	II	
25	25	25 ... 40	16 ... 30	III	
80	200	80 ... 140	50 ... 100	I	GG 26 TGW 35
70	160	70 ... 100	45 ... 90	II	
50	50	50 ... 80	32 ... 60	III	

(2) حسب شكل القطع والمساحة

### عند التحميل الستاتيكي والديناميكي

$$S_F = \frac{\sigma_F}{\sigma} \quad \text{أو} \quad S_F = \frac{\sigma_F}{\sigma_0} \quad \text{الأمان مقارنة مع السيلان (التشكيل البلاستيكي) عند الإجهاد الناطمي}$$

$$S_F = \frac{\tau_F}{\tau} \quad \text{أو} \quad S_F = \frac{\tau_F}{\tau_0} \quad \text{الأمان مقارنة مع السيلان (التشكيل البلاستيكي) عند الإجهاد المماسي}$$

2.0 ... 1.3  $S_F$  أعلى قيمة عند التحميل بالصدمة  
 $\sigma_F, \tau_F$  الإجهاد في حدود السيولة (مثلاً من مخطط الإجهاد، والتمدد، الشكل 311)  
 $\sigma, \tau$  الإجهاد الاسمي  
 $\sigma_0, \tau_0$  الإجهاد العلوي

### في الإجهاد الديناميكي

$$S_D = \frac{\sigma_G}{\sigma_a} \quad \text{عامل الأمان مقارنة مع الدائم عند الإجهاد الناطمي}$$

$$S_D = \frac{\tau_G}{\tau_a} \quad \text{عامل الأمان مقارنة مع الكسر الدائم عند الإجهاد المماسي}$$

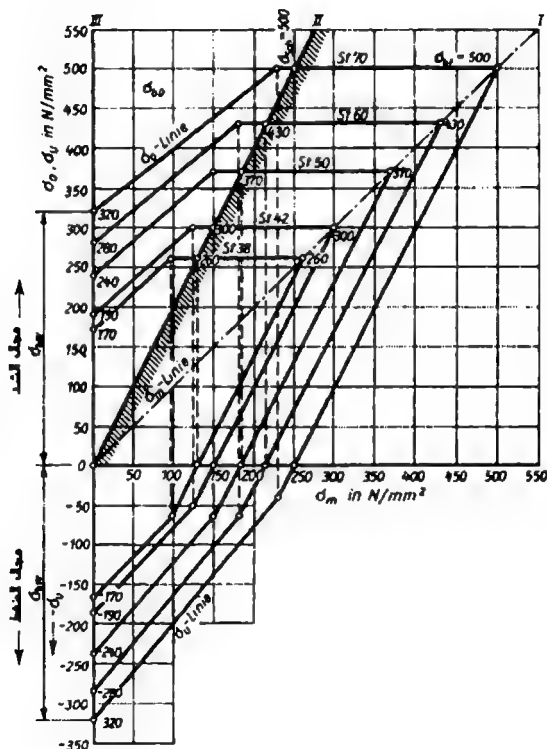
3.5 ... 1.3  $S_D$  أعلى قيمة عند أقوى حمل بالصدمة  
 $\sigma_a, \tau_a$  ذبذبة الإجهاد  
 $\sigma_G = \frac{\sigma_A K_X}{\beta_k}$  متانة التشكيل عند الإجهاد الناطمي  
 $\tau_G = \frac{\tau_A K_X}{\beta_k}$  متانة التشكيل عند الإجهاد المماسي  
 $\sigma_a, \tau_a$  ذبذبة الإجهاد للمتانة الدائمة (مثلاً من مخطط المتانة الدائمة، الشكلين 312a، 312b) و (مثلاً من الشكل 314a)  
 $K$  عامل تحديد الأبعاد  
 $\beta_k$  عامل تأثير الحز

(مثلاً من الشكلين 314b حتى

(مثلاً من الشكل 313)

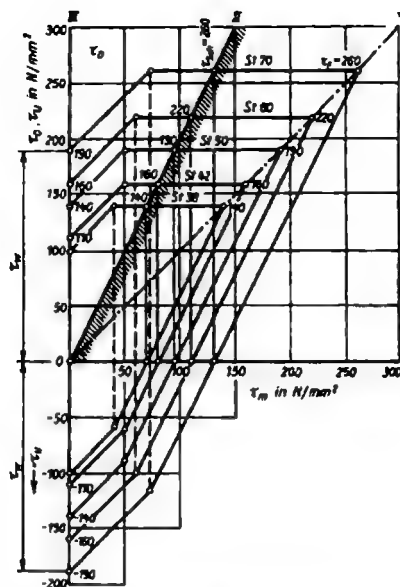
(314d

إن الاعتبارات الأخيرة هي لبقية قيم التأثير، كشكل المقطع، اللايزوتروبي، انخفاضات الجهد.



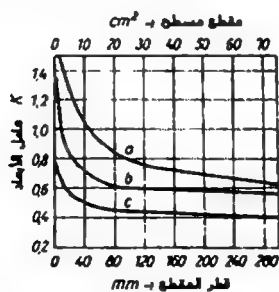
الشكل 312a معطى المادة الدائمة

ماتنة الانعطاف الدائمة  $\sigma_{BD}$  للفولاذ ذو المادة الحجرية غير مخلوطة معدنياً



الشكل 312b مخطط المتانة الدائمة

متانة الفتل الدائمة  $\tau_D$  للفلولاذ ذو المادة الحجرية غير مخلوطة معدنياً



الشكل 313 استمرار لعامل الأبعاد K

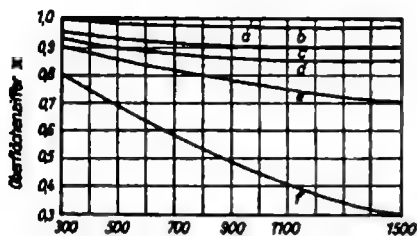
(a) محاور دوارة مع مضغوطة

(c) قضبان مسطحة

(b) قضبان دائرية، محاور الثابتة والدوارة

$$\beta_k = c(\beta_{k0} - 1) + 1$$

إيجاد عامل تأثير الحز للمحاور ذات شق مفرغ  
 $\beta_{k0}$  عامل تأثير الحز للمحاور ذات شق مفرغ بنسبة  
 أقطار محدودة (مثلاً من الأشكال 314b و 314c)  
 c عامل التحويل الحسابي (مثلاً من الشكل 314d)



(a) متانة الشد  $\sigma_0$  —  $N/mm^2$

الشكل 314a استمرار لعامل السطح

a مصقول ناعم ( $R_t < 0.4 \mu m$ )

b مصقول ناعم متوسط

( $R_t < 1 \mu m$ )

c مجلخ ناعم ( $R_t = 1 \dots 4 \mu m$ )

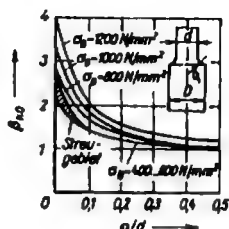
d مجلخ ناعم متوسطاً أو مطلس

( $R_t = 4 \dots 16 \mu m$ )

e ( $R_t = 25 \dots 160 \mu m$ )

f جلد حديد الصلب أو قشرة

أسطوانية ( $R_t = 160 \dots 630 \mu m$ )

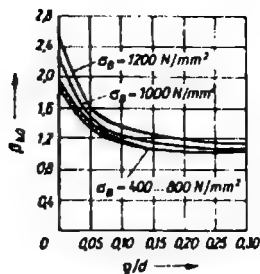
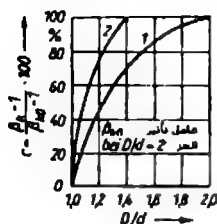


الشكل 314b، عامل تأثير الحز  $\beta_{k0}$

للمحاور المجهددة بالانعطاف ذات شق

مفرغ من أجل  $D/d = 2$  أو جدت

للمحاور ذات قطر  $d = 30 \text{ mm}$



الشكل 314d عامل تحويل الحساب c من  
أجل تأثير نسب أقطار أخرى على عامل  
تأثير الحزب للمحاور ذات الشقوق المفرغة

الشكل 314c، عامل تأثير الحزب  $\beta_{k0}$   
للمحاور المجهدة بالقتل مع شقوق  
مفرغة من أجل  $D/d = 1.4$

1 للانعطاف من أجل  $D/d < 2$

(الشكل 314b)

2 للقتل من أجل  $D/d < 1.4$

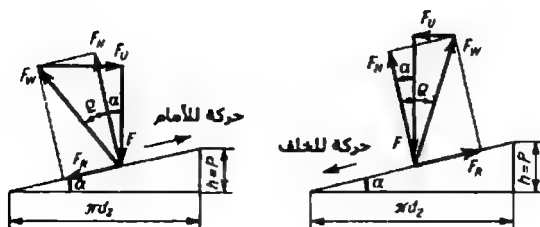
(الشكل 314c)

## 1. براغي التثبيت

### 1.1 براغي الربط

(القوى في حزب اللولب)

(تطبق أيضاً لبراغي الحركة)



الشكل 315 القوى في حزب اللولب

$$F_U = F \tan(\alpha + \rho')$$

القوة المحيطية أثناء الحركة للأمام

$$F_U = F \tan(\alpha - \rho')$$

القوة المحيطية أثناء الحركة للخلف

$$\mu' = \tan \rho' = \frac{\mu}{\cos \beta}$$

عامل الاحتكاك المختزل

$\rho'$  زاوية الاحتكاك المختزلة

$$M_l = F_U \frac{d_2}{2} = F \frac{d_2}{2} \tan(\alpha + \rho')$$

عزم الدوران

$d_2$  قطر حلقة الإحكام

$$M_{GA} = F \left[ \frac{d_2}{2} \tan(\alpha + \rho') + \mu r_A \right]$$

عزم الشد في اللولب

$r_A$  نصف القطر لعزم احتكاك الموقع

$$r_A \approx 0.7d$$

$$\rho' < \alpha$$

شرط الكبح الذاتي

$$\eta = \frac{\tan \alpha}{\tan(\alpha + \rho')}$$

المردود

### 1.1.1 البراغي المجهدة طولياً بدون إجهاد مسبق

الإجهاد الستاتيكي

$$\sigma_{z,d} = \frac{F_B}{A_S}$$

إجهاد الشد أو الضغط

$F_B$  قوة التشغيل

$A_S$  مقطع الإجهاد

$$S_F = \frac{\sigma_F}{\sigma_{z,d}}$$

الأمان مقارنة مع السيلان  $S_F \geq 1.3$

الإجهاد الديناميكي

$$\sigma_a = \frac{F_{B \max} - F_{B \min}}{2A_S}$$

ذبذبة الإجهاد

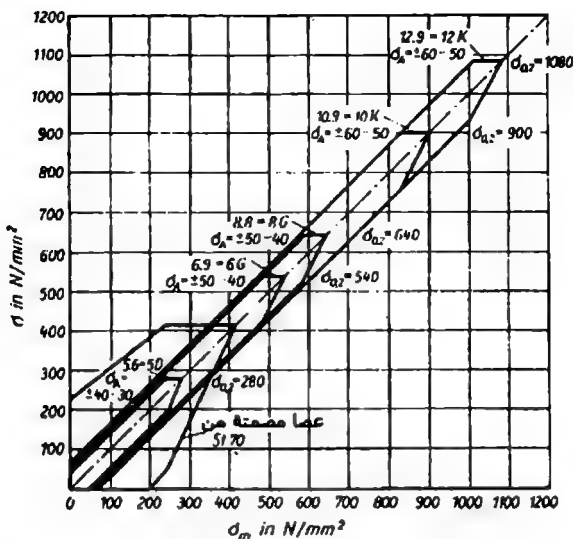
$$S_D = \frac{\sigma_A}{\sigma_a}$$

الأمان مقارنة مع الانهيار الدائم  $S_D \geq 1.3$

$\sigma_A$  متانة التشكيل (المتانة الدائمة) للبراغي

الشكل (316)





الشكل 316 مائة التشكيل (المائة الدائمة) للبرغي

## 2.1.1 البرغي الجبهة طولياً مع إجهاد مسبق

$$F_D = F_B \frac{\Delta l_B}{\Delta l_B + \Delta l_S} = F_B \frac{C_S}{C_B + C_S}$$

قوة الاختلاف

$\Delta l_S$  استطالة البرغي

$\Delta l_B$  تقصير أجزاء التركيب

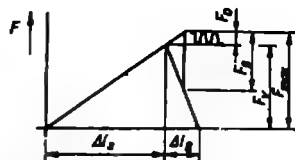
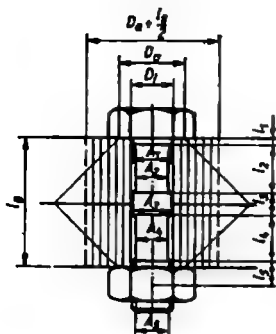
$$C_S = \frac{E_S}{\frac{l_1}{A_1} + \frac{l_2}{A_2} + \dots}$$

القوة الواحدة (ثابت النابض) للبرغي

$E_S$  معامل المرونة لمادة البرغي

$A_1, l_1, A_2, l_2, \dots$  أطوال ومقاطع أجزاء

البرغي بدون شرار أو مع شرار



الشكل 318 مخطط الإجهاد

المقاطع  $A_1 \dots A_5$

الشكل 317 براغي الربط المجهدة طولياً  
ديناميكياً مع إجهاد مسبق

$$C_B = \frac{\pi E_B \left[ \left( D_a + \frac{l_B}{2} \right)^2 - D_i^2 \right]}{4 l_B}$$

القوة الواحدة (ثابت النابض) للأجزاء  
المركبة

$E_B$  معامل المطيلية لأجزاء المادة المركبة

$D_a, D_i, l_B$  الأبعاد، انظر الشكل 317

$$F_{\max} = F_v + F_D$$

القوة الأعظمية

$F_v$  قوة مسبقة الإجهاد

$$\sigma_z = \frac{F_{\max}}{A_S}$$

إجهاد الشد

$$\tau_l = \frac{M_l}{W_p} = \frac{M_l}{\frac{\pi d_3^3}{16}}$$

إجهاد الفتل

$d_3$  قطر النواة

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma_z^2 + 3\tau_l^2}$$

إجهاد المقارنة

$$S_F = \frac{\sigma_F}{\sigma_v}$$

الأمان مقارنة مع السيلان  $S_F \geq 1.3$

$$\sigma_a = \frac{F_D}{2A_s}$$

ذبذبة الإجهاد

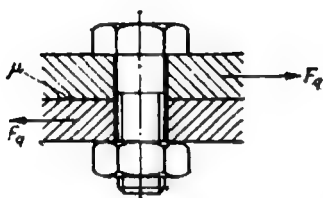
$$S_D = \frac{\sigma_A}{\sigma_a}$$

الأمان مقارنة مع الاختيار الدائم  $S_D \geq 1.3$   
 $\sigma_A$  متانة التشكيل (المتانة الدائمة) للبراغي (الشكل 316)

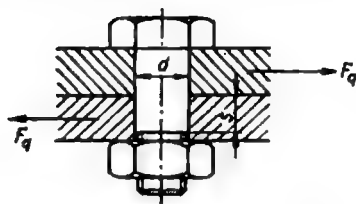
### 3.1.1 البراغي المجهدة عرضياً

$$\tau_a = \frac{F_q}{A}$$

إجهاد القص لبراغي الضغط المجهدة المقطع



الشكل 320 برغي اختراق بمجهد المقطع  
(إقفال بالاحتكاك)



الشكل 319 برغي ضغط بمجهد المقطع  
(إقفال بالشكل)

$$p = \frac{F_q}{ds}$$

انضغاط السطوح (ضغط أقراص الثقب) في البراغي  
 الملازمة المجهدة المقطع

$$F_{max} = \frac{S_q F_q}{\mu}$$

قوة البرغي الأعظمية في القفل الاحتكاكي  
 $S_q$  أمان الانزلاق

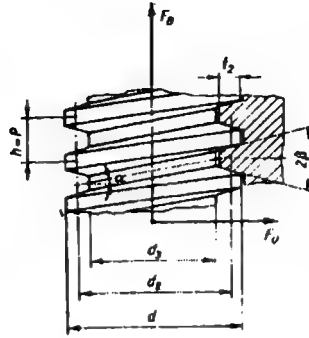
$S_q = 1.1$  بشكل عام

الحساب الدقيق لمتانة البرغي يطابق البراغي المجهدة طولياً مع إجهاد مسبق، حيث

$$F_{max} = F_v$$

## 2. براغي الحركة

(الحلزون اللولبي) الشرار



الشكل 321 براغي الحركة مع شرار ذو شبه منحرف

$$\sigma_{z,d} = \frac{F_B}{A_q}$$

إجهاد الضغط أو الشد

$A_q$  مقطع النواة

$$\tau = \frac{M_t}{W_p} = \frac{M_t}{\frac{\pi}{16} d_3^3}$$

إجهاد الفتل

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma_{z,d}^2 + 3\tau^2}$$

إجهاد المقارنة

$$S_v = \frac{\sigma_F}{\sigma_v}$$

الأمان بالمقارنة مع السيلان  $S_v \geq 1.3$

$$p = \frac{F_B}{\pi d_2 l_2 n}$$

انضغاط السطوح حلزوني/عزقة

$n$  عدد مداخل الشرار

$$m = hn$$

ارتفاع العزقة (الصامولة)

$$\lambda = \frac{l_K}{i}$$

مردود النخافة (في حلزون الضغط، مادام فحصه بالمقارنة

مع التحنيط مطلوباً)

$l_K$  طول التحنيط

$i$  نصف قطر العطالة

هناك حسابات إضافية حسب Euler في حال  $\lambda \geq \lambda_p$ ، وحسب Tetmajer في حال  $\lambda < \lambda_p$  انظر الميكانيك الهندسي.

يمكن حساب الأمان بالمقارنة مع إجهاد الكسر في حالة الإجهادات الديناميكية بشكل مطابق لحساب المحاور الدوارة ص 258. عندها يجب إيجاد متانة الهيكل  $\sigma_G$  أو  $\tau_G$  وذبذبات الإجهادات  $\sigma_a$  أو  $\tau_a$ .

### 3. الربط بالشرار والخوابير

#### 1.3 الربط بالشرار

$$M_b = \frac{F}{4} \left( 1 - \frac{b}{2} \right)$$

عزم الانعطاف (أعظمياً)

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W} = \frac{8F \left( 1 - \frac{b}{2} \right)}{\pi d^3}$$

إجهاد الانعطاف (الأعظمي)

W عزم المقاومة

$$P_{St} = \frac{F}{bd}$$

انضغاط السطوح شرار/عمود

$$P_G = \frac{F}{2ds}$$

انضغاط السطوح شرار/شوكة

#### 2.3 الربط بالخوابير

نخابور الإدخال

$$M_b = Fh$$

عزم الانعطاف (أعظمياً)

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W} = \frac{32Fh}{\pi d^3}$$

إجهاد الانعطاف (أعظمياً)

$$p = \frac{F(6h + 4s)}{ds^2}$$

انضغاط السطوح (أعظمياً)

الخابور القطري

$$\tau = \frac{4M_t}{\pi D_w d^2}$$

إجهاد القص

$$p_N = \frac{4M_t}{(D_N^2 - D_w^2)d}$$

ضغط السطوح خابور/صرة

$$p_w = \frac{6M_t}{D_w^2.d}$$

انضغاط السطوح خابور/محور (أعظمية)

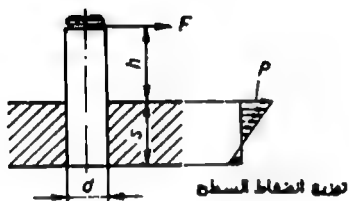
الخابور الطولي (خابور محوري)

$$p = \frac{4M_t}{DdI}$$

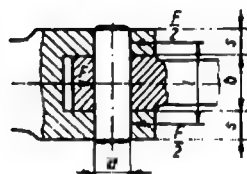
انضغاط السطوح خابور/صرة

مع خابور/محور

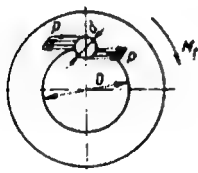
الطول المحمول للخابور



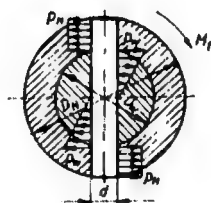
الشكل 323 خابور الإدخال القسري



الشكل 322 الربط بالشرار



الشكل 325 خابور طولي



الشكل 324 خابور قطري

## 4. الروابط الأحكام للمحاور والصرّة

### 1.4 نوابض الأحكام (الضغط)

$$F_U = \frac{2M_t}{d_1}$$

القوة المحيطة (في محيط المحور)

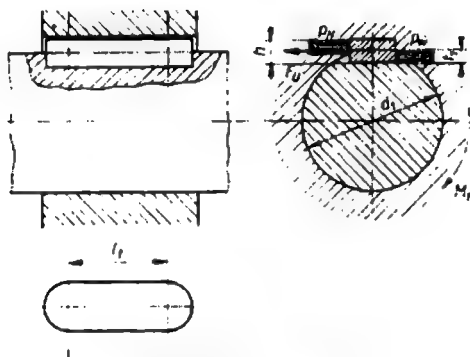
$$p_w = \frac{F_U}{t_1 l_1}$$

ضغط السطوح نابض/محور

$$p_N = \frac{F_U}{(h - t_1) l_1}$$

ضغط السطوح نابض/صرّة

$l_1$  طول النابض المحمول



الشكل 326 الربط بنوابض الضغط

### 2.4 المساقط الجانبية للمحاور والصرّة

نوابض ذو أجنحة كثيرة

$$F_U = \frac{2M_t}{d_m}$$

قوة محيطة (في محيط المحور الرسطي)

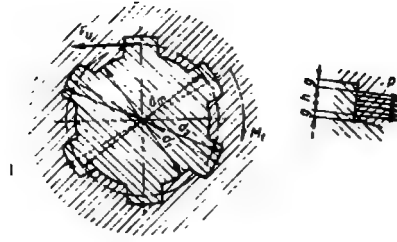
$$p = \frac{F_U}{0.75 h l_1}$$

ضغط السطوح

0.75 = 75 % من جزء المساحة المحمولة المفترضة

$$h = \frac{d_2 - d_1}{2} - 2g$$

ارتفاع الصامولة المجهدة



الشكل 327 مسقط محور وصرة (خابور ذو أجنحة كثيرة)

## 5. روابط الضغط

$$\sigma_{tAi} = p \frac{1 + Q_A^2}{1 - Q_A^2}$$

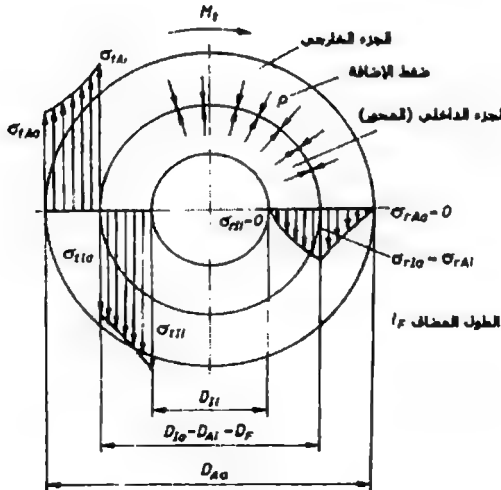
الإجهاد المماسي (الجزء الخارجي، المساحة الداخلية)

$$\sigma_{tIa} = -p \frac{1 + Q_I^2}{1 - Q_I^2}$$

الإجهاد المماسي (جزء داخلي، مساحة خارجية)

$$Q_A = \frac{D_F}{D_{AS}}; \quad Q_I = \frac{D_{II}}{D_F}$$

نسب الأقطار



الشكل 328 توزيع الإجهاد في ربط محور وخابور (مضغوطين)



$$\sigma_{rAi} = -p \quad \text{الإجهاد القطري (جزء خارجي، مساحة داخلية)}$$

$$\sigma_{rIa} = -p \quad \text{الإجهاد القطري (جزء داخلي، مساحة خارجية)}$$

$$\sigma_{tAa} = \sigma_{tAi} - p \quad \text{الإجهاد المماسي (جزء خارجي، مساحة خارجية)}$$

$$\sigma_{tIi} = -\frac{2p}{1-Q_I^2} \quad \text{الإجهاد المماسي (جزء داخلي، مساحة داخلية)}$$

$$\sigma_{nAi} = p \left( \frac{1+Q_A^2}{1-Q_A^2} + \frac{1}{m_A} \right) \quad \text{الإجهاد الناطمي (جزء خارجي، مساحة داخلية)}$$

$$\sigma_{nIa} = -p \left( \frac{1+Q_I^2}{1-Q_I^2} - \frac{1}{m_I} \right) \quad \text{الإجهاد الناطمي (جزء داخلي، مساحة خارجية)}$$

$$\varepsilon_{Ai} = \frac{p}{E_A} \left( \frac{1+Q_A^2}{1-Q_A^2} + \frac{1}{m_A} \right) = pK_A \quad \text{الانفعال (جزء خارجي، سطح داخلي)}$$

$$\varepsilon_I = -\frac{p}{E_I} \left( \frac{1+Q_I^2}{1-Q_I^2} - \frac{1}{m_I} \right) = -pK_I \quad \text{الانفعال (جزء داخلي، سطح خارجي)}$$

$K_A, K_I$  قيم مساعدة لحساب التمدد الشكل 329

$$Z = p(K_A + K_I) D_F \quad \text{القياس النظري الزائد}$$

$$U_K = Z + \Delta U \quad \text{القياس الزائد العملي (القياس الزائد أصغري)}$$

$$\Delta U = 2(G_{Ai} + G_{Ia}) \quad \text{ضياح القياس الزائد}$$

$$G_{Ai} \approx 0.6 R_{Ai} \quad \text{النعومة (جزء خارجي، مساحة داخلية)}$$

$$G_{Ia} \approx 0.6 R_{Ia} \quad \text{النعومة (جزء داخلي، مساحة خارجية)}$$

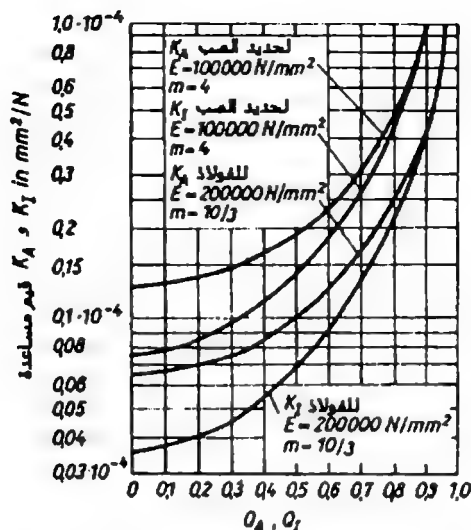
$$F_S = \sigma_{sA} \frac{1-Q_A^2}{1+Q_A^2} \quad \text{أكبر ضغط إضافي مسموح به (من } \sigma_{Ai}, \text{ حيث } \sigma_{tAi} = \sigma_{sA} \text{، الإجهاد في حدود المسافة للمادة للجزء الخارجي)}$$

$$U_s = p_s(K_A + K_I) D_F + \Delta U \quad \text{أكبر قياس زائد}$$

$$T = U_s - U_K \quad \text{التسامح المناسب}$$

$$T_B = (0.5 \dots 0.6) T \quad \text{تسامح الثقب}$$

$$T_W = T - T_B \quad \text{تسامح المحور}$$



الشكل 329 قيم مساعدة  $K_A$  و  $K_F$  لحساب التمدد

$$M_{t \max} = \frac{\frac{\pi}{2} p D_F^2 l_F \mu}{S_H}$$

عزم الدوران الأعظمي المنقول

$\mu = \mu_r$  عامل الاحتكاك (عامل التماسك)

$S_H = 1.8 \dots 2.0$  أمان التماسك

$$t_A = \frac{U_g + S_K}{\alpha_A D_F} + t_R$$

درجة حرارة الإخاء للجزء الخارجي لجملة

انضغاط عرضية

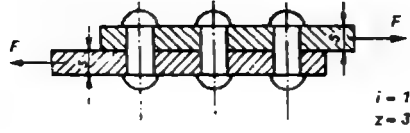
$t_R$  درجة حرارة الغرفة

$\alpha_A$  عامل التمدد الحراري الطولي

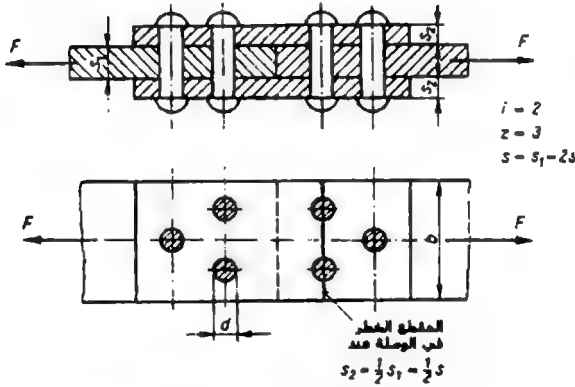
$$S_K = (0.5 \dots 1.0) U_g$$

خلوص الإدخال

## 6. وصلات الربط بالبرشيم



الشكل 330 البرشمة لصفحة ذات المقطع الواحد (تراكبية)



الشكل 331 البرشمة ذات مقطعين

$$\tau = \frac{F}{A}$$

$$A = \frac{\pi d^2}{4} iz$$

إجهاد القص (إجهاد الانزياح) في مقطع الوصلة

سطح القص - مقطع القص يشمل

d قطر البرشام المتعرض للخطر

i عدد المقاطع المقصوفة لكل وصلة.

z عدد الوصلات

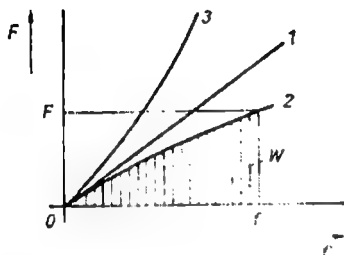
$$p_1 = \frac{F}{dsz}$$

ضغط القرص المثقوب (انضغاط) بين القطعة والمسار المرشم  
s أصغر سماكة عناصر الربط النسبية

$$\sigma_z = \frac{F}{s(b-2d)}$$

إجهاد الشد الأعظمي في الأجزاء الموصولة، شكل 331  
عندها يجب دائماً اعتبار الموقع ذو المقطع الخطر

## 7. النوابض



الشكل 332 الخطوط المميزة للنوابض

1 سلوك خطي، 2 سلوك تنازلي  
3 سلوك تصاعدي

$$c = \frac{dF}{df}$$

ثابت النابض (عام)

$$c = \frac{F}{f}$$

ثابت النابض (في الخط المستقيم المستقيم)

$$W = \int F df$$

عمل النابض (عام)

$$W = \frac{Ff}{2} = \frac{cf^2}{2}$$

عمل النابض (في الخط المميز المستقيم)

## 1.7 النوابض المجهدة بالانعطاف

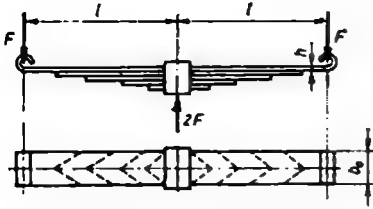
النوابض الورقية البسيطة

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W} = \frac{6Ff}{bh^2}$$

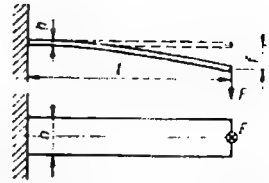
$$f = \frac{F/3}{3EI} = \frac{4F/3}{Ebh^3}$$

إجهاد الانعطاف (الأعظمي) } يعتبر كجائز حر  
إجهاد التبدل (مسافة النابض)

### النوابض الورقية الطبقة



الشكل 334 النوابض الورقية الطبقة



الشكل 333 النابض الورقي البسيط

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W} = \frac{6Fl}{bh^2} = \frac{6Fl}{ib_0h^2}$$

$$f = q \frac{F l^3}{3EI} = q \frac{4F l^3}{Eib_0h^3}$$

إجهاد الانعطاف (الأعظمي)

التدلي (مسافة النابض)

إ عزم العطالة

E مودول المطيلية

i عدد صفائح النابض

q عامل، يأخذ بعين الاعتبار عدد صفائح النابض

عدد صفائح النابض	1	2	3	4	5	6
q	1	1.16	1.24	1.28	1.31	1.34

## 2.7 النوابض المجهدة بالفتل

نابض قضيب دوراني



الشكل 335 نابض قضيب دوراني

$$\tau_t = \frac{M_t}{W_p} = \frac{16M_t}{\pi d^3}$$

إجهاد الفتل

$M_t$  عزم الدوران

$W_p$  عزم المقاومة القطبي

$d$  قطر القضيب الدوار

زاوية الدوران

$G$  مودول الانزلاق

$I_p$  عزم العطالة القطبي

ثابت النابض

$$C = \frac{M_t}{\varphi} = \frac{GI_p}{l}$$

نوابض البراغى الاسطوانية من شبكة فولاذ نابضية ذات مقطع دائري

$$\tau = k \frac{M_t}{W_p} = k \frac{8Fd_m}{\pi d^3}$$

إجهاد الانزلاق

$d_m$  قطر اللفة الوسطي

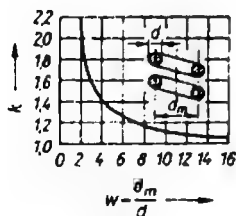
$W_p$  عزم المقاومة القطبي

$d$  قطر السلك

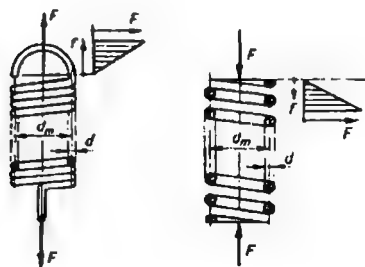
$k = f(w)$  عامل يأخذ بعين الاعتبار نسبة اللف

$$w = \frac{d_m}{d} \geq 3$$

نسبة اللف



الشكل 337، عامل  $k = f(w)$



الشكل 336 نابض على شكل برغى

يستخدم كنابض للشد أو الضغط

$$f = \frac{\pi F_i f d_m^3}{4 G I_p} = \frac{8 F_i f d_m^3}{G d^4}$$

مسافة التناضح، التناضحية

(الانضغاط عند نابض ضغط، الاستطالة في حال نابض شد)

G مودول الانزلاق

$I_p$  عزم العطالة القطبي

$i_f$  عدد لفات التناضح

$$i_{tot} = i_f + 2$$

عدد اللفات الكلية (في نابض الضغط)

$$l_B = i_{tot} d$$

طول البلوك في (نابض الضغط)

## 8. المحاور الثابتة والمحاور الدوارة

### 1.8 القوى وقوى ردود الأفعال (قوى المضاجع)

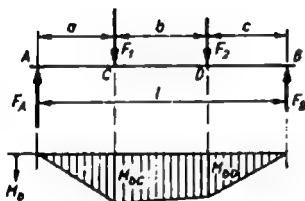
المحاور الثابتة (فقط انعطاف)

إيجاد قوى المضاجع باستخدام

شروط التوازن (تخطيطياً أو حسابياً)

في الشكل 338 القوى والعزوم في

المحور (مثال)



قوى المضاجع (الشكل 338)

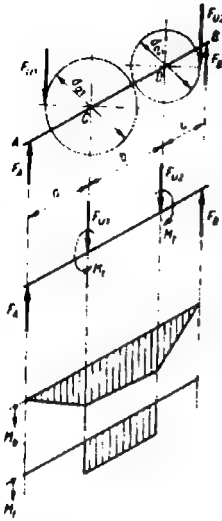
$$\sum M_A = 0$$

$$F_B = \frac{F_1 a + F_2 (a + b)}{l}$$

$$\sum F_y = 0$$

$$F_A = F_1 + F_2 - F_B$$

### المحاور الدوارة (انعطاف مع قتل)

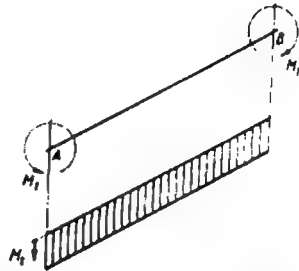


الشكل 339 القوى والعزوم في محور  
(مثلاً محور آلية)

إيجاد القوى المحيطة من عزم الدوران.  
إيجاد قوى المضاجع كما في المحاور الثابتة  
(تحصل القوى القطرية)  
القوى المحيطة (الشكل 339)

$$F_{U1} = \frac{2M_t}{d_{01}}$$

$$F_{U2} = \frac{2M_t}{d_{02}}$$



الشكل 340 عزم القتل في محور (مثلاً محور كاردان)

### المحاور الدوارة (فقط قتل)

لا يوجد هناك قوى مضاجع

## 2.8 عزوم القتل والانعطاف

### المحاور الثابتة (فقط عزوم الانعطاف)

يتم إيجاد عزوم الانعطاف من المقاطع المعتبرة وشروط التوازن (حسابياً أو تخطيطياً)

$$M_{bc} = F_A a$$

عزوم الانعطاف في C و D (للكشكل 338)

$$M_{bD} = F_B c$$



### المحاور الدوارة (عزوم الفتل والانعطاف)

يتم إيجاد عزوم الانعطاف تماماً كما في المحاور الثابتة.

يتم إيجاد عزوم الفتل من الاستطاعة وعدد الدورات.

$$* M_t = 97400 \frac{P}{n}$$

$M_t$	$P$	$n$
kp cm	kW	l/min

عزم الفتل بين C و D  
(في الشكل 339)

$$M_t = F_{U1} \frac{d_{01}}{2} = F_{U2} \frac{d_{02}}{2}$$

أو

$$* M_t = 9550 \frac{P}{n}$$

$M_t$	$P$	$n$
Nm	kW	l/min

### المحاور الدوارة (فقط عزوم الفتل)

$$* M_t = 97400 \frac{P}{n}$$

أو

$M_t$	$P$	$n$
kp cm	kW	l/min

عزم الفتل بين A و B (في  
الشكل 340)

$$* M_t = 9550 \frac{P}{n}$$

$M_t$	$P$	$n$
Nm	kW	l/min

## 3.8 الإجهادات

### المحاور الثابتة (إجهاد الانعطاف)

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W} = \frac{M_b}{\frac{\pi}{32} d^3} \leq \sigma_{ballal}$$

إجهاد الانعطاف

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 M_b}{\pi \sigma_{balla}}} = 2.173 \sqrt[3]{\frac{M_b}{\sigma_{balla}}}$$

حساب القطر

المحاور الدوارة (إجهاد الانعطاف، إجهاد الفتل، الإجهاد المقارن)

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W} = \frac{M_b}{\frac{\pi}{32} d^3} \leq \sigma_{ballal} \quad \text{إجهاد الانعطاف}$$

$$\tau_t = \frac{M_t}{W_p} = \frac{M_t}{\frac{\pi}{16} d^3} \leq \tau_{ballal} \quad \text{إجهاد الفتل}$$

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma_b^2 + 3\tau_t^2} \leq \sigma_{ballal} \quad \text{الإجهاد المقارن}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{32M_b}{\pi\sigma_{balla}}} = 2.173 \sqrt[3]{\frac{M_b}{\sigma_{balla}}} \quad \text{الحساب التقديري للقطر (فقط باعتبار الانعطاف)}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{16M_t}{\pi\tau_{balla}}} = 1.723 \sqrt[3]{\frac{M_t}{\tau_{balla}}} \quad \text{الحساب التقديري للقطر (فقط باعتبار الفتل)}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{32M_v}{\pi\sigma_{balla}}} = 2.173 \sqrt[3]{\frac{M_v}{\sigma_{balla}}} \quad \text{حساب القطر (باعتبار الانعطاف والفتل)}$$

$$M_v = \sqrt{M_b^2 + 0.75M_t^2} \quad \text{عزم المقارنة}$$

#### 4.8 متانة التشكيل والمتانة الدائمة

المحاور الثابتة (انعطاف حسب حالة التحميل III (انعطاف دوراني) أو II)

$$S_D = \frac{\sigma_G}{\sigma_a} \quad \text{الأمان مقارنة مع الانهيار الدائم}$$

$$\sigma_G = \frac{\sigma_{bw} K x}{\beta_{kb}} \quad \text{متانة الهيكل (حالة التحميل III)}$$

$\sigma_{bw}$  متانة الانعطاف المتناوبة

K عامل القياس

x عامل السطح الخارجي

$\beta_{kb}$  عامل تأثير الحز عند الانعطاف

$$\sigma_a = \sigma_b = \frac{M_b}{W} \quad \text{ذبذبة الإجهاد (حسب حصة التحميل III)}$$

المحاور الدوارة (انعطاف و/أو قتل حسب حالة التحميل III أو II)

$$S_D = \frac{\sigma_G}{\sigma_a} \quad \text{الأمان مقارنة مع الاهتزاز الدائم (انعطاف)}$$

$$S_D = \frac{\tau_G}{\tau_a} \quad \text{الأمان مقارنة مع الاهتزاز الدائم (قتل)}$$

$$S_D = \frac{\sigma_G}{\sigma_a} \quad \text{الأمان مقارنة مع الاهتزاز الدائم (انعطاف وقتل)}$$

$$\sigma_G = \frac{\sigma_{bw} K_x}{\beta_{kb}} \quad \text{متانة الهيكل (انعطاف) حالة التحميل III}$$

$$\tau_G = \frac{\tau_{tw} K_x}{\beta_{kl}} \quad \text{متانة الهيكل (القتل) حالة التحميل III}$$

$\tau_{tw}$  متانة القتل المتناوبة

$\beta_{kl}$  عامل تأثير الحز عند القتل

$$\sigma_G = \frac{\sigma_{bw} K_x}{\beta_{red}} \quad \text{متانة الهيكل الانعطاف والقتل (حالة التحميل III)}$$

$$\beta_{red} = \sqrt{\beta_{kb}^2 + 3 \left( \frac{\tau_a}{\sigma_a} \beta_{kl} \right)^2} \quad \text{عامل تأثير الحز المختزل}$$

$$\sigma_a = \sigma_b = \frac{M_b}{W} \quad \text{ذبذبة الإجهاد (انعطاف) حالة التحميل III}$$

$$\tau_a = \tau_t = \frac{M_t}{W_p} \quad \text{ذبذبة الإجهاد القتل (حالة التحميل III)}$$

$$\sigma_a = \sigma_b = \frac{M_b}{W} \quad \text{ذبذبة الإجهاد الانعطاف والقتل (حالة التحميل III)}$$

يعتبر القتل بعد ذلك خلال  $\beta_{red}$

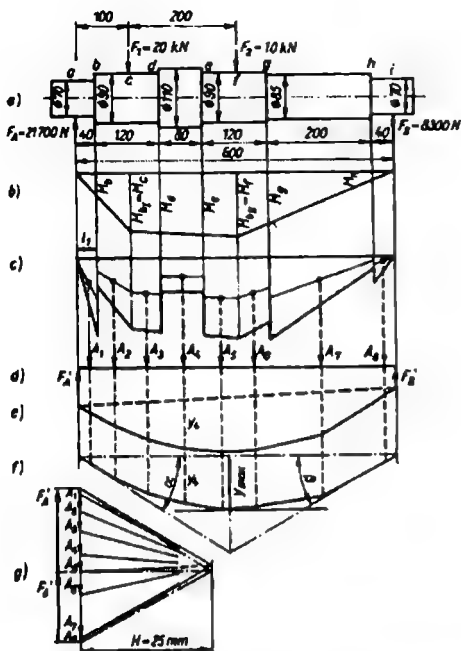
## 5.8 تغييرات الشكل

التدلي في المحاور الثابتة والمحاور الدوارة

يتم إيجاد الحل الحسابي للتدلي بمساعدة معادلة التفاضل لخط الانعطاف، أو عملية قيم القوى أو قانون Castigliano. من أجل حمولات معينة تعطى قيم التدلي. (الجدول).

يتم إيجاد الحل التخطيطي للتدلي، بشكل خاص للمحاور والمحاور الدوارة، بطريقة الجائز المكافئ حسب mohr (الشكل 341).

يجب اعتبار مقياس الرسم



قياس الرسم الطولي

(مقياس الرسم للقوى)

مقياس رسم العزوم

مقياس رسم العزوم المختزلة

مقياس رسم المساحة

مقياس رسم التدلي

الشكل 341 الحل التخطيطي لإيجاد التدلي لمحور دوار

عرض البيانات الهامة لذلك في شكل جدول

الموقع	a mm	I $10^4 \text{ mm}^4$	$M_b$ N mm	$\frac{M_b}{I}$ N/mm <sup>3</sup>	المساحة	محتوى السطح يكافئ قوى السطح N/mm <sup>2</sup>
a	70	117.9	-	-	A <sub>1</sub>	$\frac{0.74 \times 40}{2} = 14.8$

## الفتل في المحاور

$$\varphi = \frac{M_t l}{GI_p}$$

زاوية الفتل

G مودول الانزلاق

$I_p$  عزم العطالة القطبي

$$\vartheta = \frac{\varphi}{l} = \frac{M_t}{GI_p}$$

زاوية الفتل النسبية

$$* d = \sqrt[4]{\frac{180}{\pi} \frac{32 M_t}{\pi G \vartheta_{alla}}}$$

حساب القطر (مع اعتبار زاوية الفتل

النسبية المسموح بها)

d	$M_t$	$\vartheta_{alla}$	G
cm	kp cm	$\frac{^\circ}{cm}$	$\frac{kp}{cm^2}$

أو

d	$M_t$	$\vartheta_{alla}$	G
cm	N cm	$\frac{^\circ}{cm}$	$\frac{N}{cm^2}$

## 6.8 الاهتزازات

### اهتزازات الانعطاف للمحاور الدوارة

$$* n_k = 300 \sqrt{\frac{1}{f}}$$

$n_k$	f
1/min	cm

عدد الدورات الحرج (الطنين) في

القرص المركب

f التبدلي الستاتيكي للمحور الدوار نتيجة

الوزن الذاتي للصحيفة (القرص) أيضاً عند

محور دوار مائل أو شاقولي

$$* n_k = 300 \sqrt{\frac{1}{f_0 + f_1 + f_2 + \dots}}$$

عدد الدورات الحرج (الطين) لأقرص عديدة

مركبة حسب Dunkerley

$n_k$	$f_0, f_1, f_2, \dots$
1/min	cm

$f_0$  التدلي الستاتيكي للمحور الدوار نتيجة

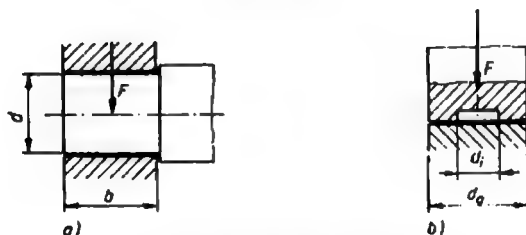
الوزن الذاتي للمحور (يمكن إهماله)

$f_1, f_2$  التدلي الستاتيكي نتيجة الوزن الذاتي للقرص  
تطبق أيضاً هذه الصيغة في حال تقريب كبير

## 9. المضاجع الانزلاقية (المدحرجات)

### 1.9 المضاجع الانزلاقية مع احتكاك ممزوج (مضجع تاكل)

ضغط السطوح



الشكل 342 المضجع الطولي والعرضي

(a) مضجع عرضي (b) مضجع طولي

$$p = \frac{F}{bd}$$

انضغاط السطوح في المضجع العرضي (مضجع حامل)

$$p = \frac{F}{\frac{\pi}{4}(d_a^2 - d_i^2)}$$

انضغاط السطوح في المضجع الطولي (مضجع حماية)

التسخين

$$\mu F_v = \alpha A(t_m - t_1) + cpQ(t_a - t_e)$$

التوازن الحراري

$\mu Fv$

حرارة الاحتكاك، الحرارة المتولدة

$\mu$  عامل الاحتكاك

$v = \pi dn$

سرعة الانزلاق (المضجع العرضي)

$\alpha A(t_m - t_1)$

الحرارة المسحوبة من المضجع خلال الإشعاع

$\alpha$  عامل انتقال الحرارة

$$\alpha \approx 0.012 \dots 0.02 \frac{\text{kpcm}}{\text{cm}^2 \text{ s K}}$$

$$\approx 0.012 \dots 0.02 \frac{\text{Nmm}}{\text{mm}^2 \text{ s K}}$$

$A = (4 \dots 10) \pi bd$

سطح الطبقة الخارجية للمضجع

$t_m$  درجة حرارة طبقة التشحيم الرقيقة الوسطية (درجة حرارة المضجع)

$t_1$  درجة حرارة الهواء المحيط بالمضجع

$cpQ(t_a - t_e)$

الحرارة المسحوبة من المضجع بواسطة وسيط تبريد

$c$  السعة الحرارية النوعية لوسيط التبريد

$$c \approx 0.4 \frac{\text{kcal}}{\text{kg K}} = 1.68 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$$

باستخدام زيت التبريد

$\rho$  كثافة وسيط التبريد،  $\rho \approx 0.9 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$

$t_e$  درجة حرارة خروج وسيط التبريد

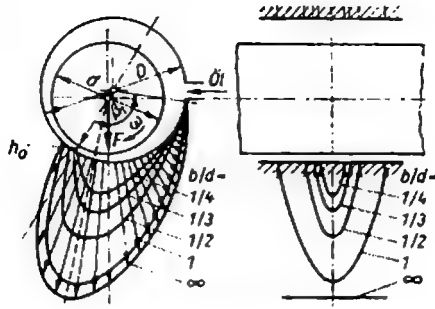
$t_a$  درجة حرارة دخول وسيط التبريد

(الافتراء (التاكل)

يمكن حساب التاكل كحساب عمر المضجع بمساعدة مخطط التاكل (يمكن العودة

إلى المراجع الاختصاصية)

## 2.9 المدحرجات الهيدروديناميكية



الشكل 343 مخطط توزيع الضغط في قناة التشحيم

$$s = D - d$$

$$s_k = s + \Delta s$$

$$\Delta s \approx 10^{-4} d$$

$$\psi = \frac{s}{d} = \frac{D-d}{d}$$

$$e = \frac{D-d}{2} - h_0$$

$$\epsilon = \frac{e}{\frac{D-d}{2}}$$

$$h_0 = \psi r (1 - \epsilon)$$

$$h_{0\ddot{u}} = y_1 + y_2 + y_3 + y_4$$

$$y_1 = \frac{R_L}{2}$$

$$y_2 = \frac{R_Z}{2}$$

خلوص المضجع المطلق (خلوص ساخن)

خلوص المضجع المطلق (خلوص بارد)

فرق الخلوص في طبقة الصب الخارجية

خلوص المضجع النسبي

حساب اللامر كزية

حساب اللامر كزية النسبية

أضيق ممر مشحوم (مزيت)

أضيق ممر مشحوم (قيمة انتقالية، قيمة حدية)

درجة خشونة السطح الخارجي للمضجع

$R_L$  عمق خشونة المضجع

خشونة السطح الخارجي للوند (خابور)

$R_Z$  عمق خشونة الخابور



$y_3$  انحراف (ميل) وتحدب الخابور

$$y_3 = 0.001 \dots 0.01 \text{ mm}$$

$y_4$  ميل وتحدب قشرة المضجع، قابل للتحديد

بصعوبة، غالباً  $y_4 = 0$

$R_z$  عمق خشونة الخابور

عامل أمان لأضيق ممر مشحوم

$$S = \frac{h_0}{h_{0u}}$$

$$S = 1.2 \dots 1.5$$

$$\sigma = \frac{h_0}{r}$$

عرض الممر النسبي

$$S_0 = \frac{p\psi^2}{\eta\omega}$$

عامل Sommerfeld

$\eta$  اللزوجة الديناميكية للزيت

$\omega$  السرعة الزاوية للخابور

$$\mu = \frac{2.25}{\sqrt{1-\varepsilon}} \frac{\psi}{S_0}$$

قيمة التآكل (معادلة تقريبية)

تحليل المضجع

بحال الخلوص الطبيعي للمضجع

$$S_0 = 1 \dots 20 \text{ و } \varepsilon = 0.60 \dots 0.95$$

## 10. المدحرجات الأسطوانية

قدرة التحمل الديناميكية

$$L = \left( \frac{C}{F} \right)^p$$

$L$  العمر بملايين الدورات

$C$  الحمولة الديناميكية

$F$  الحمل المكافئ

$p$  أس العمر وبشكل عام فإن  $p = 3 \dots 4$

للمدحرجات الكروية  $p = 3$ ، للمدحرجات الأسطوانية  $p = \frac{10}{3}$

$$* L_h = \frac{10^6 L}{60n}$$

$L_h$	$L$	$n$
$h$	$10^6$	$1/\text{min}$

$L_h$  عمر المدحرج — ساعات العمل

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{حسب مراجع علمية أو من} \\ \text{النشرات الفنية للمدحرجات} \\ \text{الأسطوانية} \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} f_L \text{ عامل تحديد العمر} \quad f_L = \frac{C}{F} f_n f_i \\ f_n \text{ عامل عدد الدورات} \\ f_i \text{ عامل درجة الحرارة} \end{array} \right.$$

تعتبر القوى الإضافية الديناميكية من خلال عوامل الإضافة  $f_i$ ، حيث  $f_i = 1.1 \dots 2.3$  عند تجاوز القساوة الأصغرية (HRC 60 أو 59)، يتم تخفيض عدد الحمولات الديناميكية عبر إدخال عامل القساوة.  $f_H < 1.0$ .

حساب عوامل عدد الدورات وعوامل عمر المدحرج

$$f_n = \left( \frac{33 \frac{1}{3} \text{ min}^{-1}}{n} \right)^{\frac{1}{3}} \quad \text{عامل عدد الدورات للمدحرج الكروي}$$

$$f_n = \left( \frac{33 \frac{1}{3} \text{ min}^{-1}}{n} \right)^{\frac{3}{10}} \quad \text{عامل عدد الدورات للمدحرج الأسطواني}$$

$$f_L = \left( \frac{L_h}{500h} \right)^{\frac{1}{3}} \quad \text{عامل العمر للمدحرج الكروي}$$

$$f_L = \left( \frac{L_h}{500h} \right)^{\frac{3}{10}} \quad \text{عامل العمر للمدحرج الأسطواني}$$

### حساب الحمل المكافئ

$$F = VXF_r + YF_a$$

$$F = F_a + VF_r$$

$$F = F_a$$

الحمل المكافئ للمدحرج القطري

الحمل المكافئ للمدحرج المحوري الأبري

الحمل المكافئ للمدحرجات الكروية - الأسطوانية والمحورية

F عامل الدورات

عند الحمل المحيطي للحلقة الداخلية  $V = 1$ ، عند الحمل النقطي

للحلقة الداخلية حسب جداول المدحرجات الأسطوانية

$F_r$  الحمل القطري الحقيقي

$F_a$  الحمل المحوري الحقيقي

X العامل القطري { حسب جداول

Y العامل المحوري { المدحرجات الأسطوانية

### قدرة الحمل الستاتيكية

$$f_0 = \frac{C_0}{F_0}$$

عامل تعريف قدرة الحمل الستاتيكية

$C_0$  عامل الحمل الستاتيكي

$F_0$  الحمل المكافئ الستاتيكي

### حساب الحمل الستاتيكي المكافئ

$$F_0 = X_0 F_{r0} + Y_0 F_{a0}$$

$$F_0 = 2.3 F_{r0} + F_{a0}$$

$$F_0 = F_{a0}$$

الحمل الستاتيكي المكافئ للمدحرج القطري

الحمل الستاتيكي المكافئ للمدحرج المحوري الدوراني الأبري

الحمل الستاتيكي المكافئ للمدحرج الكروي المحوري

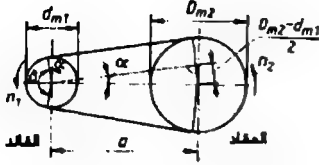
$F_{r0}$  أكبر حمل قطري مطبق

$F_{a0}$  أكبر حمل محوري مطبق

$X_0$  العامل القطري { حسب جداول

$Y_0$  العامل المحوري { المدحرجات الأسطوانية

## 11. السيور



الشكل 347 الشكل تخطيطياً للسيور

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{D_{m2}}{d_{m1}}$$

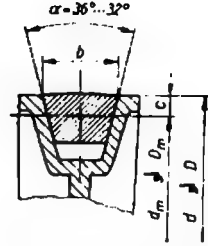
$$v = \pi d_{m1} n_1 = \pi D_{m2} n_2$$

$$\cos \frac{\beta}{2} = \frac{D_{m2} - d_{m1}}{2a}$$

$$L_m = \frac{d_{m1} + D_{m2}}{2} \pi + 2a + \frac{(D_{m2} - d_{m1})^2}{4a}$$

$$Z = \frac{P' c_2}{P c_1 c_3}$$

اعتبار المستحجات لقيم تأثير أخرى،  
كطول السير عدد السيور، المحيط.



الشكل 346 مقطع لشكل السيور

نسبة النقل

$n_1$  عدد دورات البكرة القائدة

$n_2$  عدد دورات البكرة المقادة

السرعة المحيطية، سرعة السير

$\beta$  زاوية الإحاطة

طول السير الوسطي (قيمة

تقريبية لـ  $140^\circ \leq \beta \leq 180^\circ$

عدد السيور

$P'$  الاستطاعة المطلوب نقلها

$P$  الاستطاعة القابلة للنقل عندما  $\beta = 180^\circ$

دون إجهاد زائد (قيمة مثالية)

$c_1$  عامل زاوية الإحاطة  $c_1 \leq 1$

$c_2$  عامل إجهاد زائد قصير الأجل  $c_2 \geq 1$

$c_3$  عامل لقطر الأقراص  $c_3 \leq 1$

## 12. المسننات

### 1.12 هندسة وآلية التعشيق

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{z_2}{z_1}$$

النقل (دوماً باتجاه تأثير القوة)

$n_1, n_2$  عدد دورات البكرتين القائدة والمقودة

$\omega_1, \omega_2$  السرعة الزاوية البكرتين القائدة والمقودة

$z_1, z_2$  عدد أسنان المسنن القائد والمقود

$$u = \frac{z_{pinion}}{z_{gear}} \geq 1$$

نسبة عدد الأسنان (غير متعلق باتجاه تأثير القوة)

تحديد وحساب قيم المسننات ذات الأسنان المستقيمة مع تعشيق انقليزي

$$t_0 = \pi m$$

منصف دائري جزئي

$m$  مودول (تجزئة القطر)

$$d_0 = z m$$

قطر الدائرة الجزئي

$$h_{k0} = m$$

ارتفاع رأس السن

$$h_{f0} = h_{kw}$$

ارتفاع جذر السن

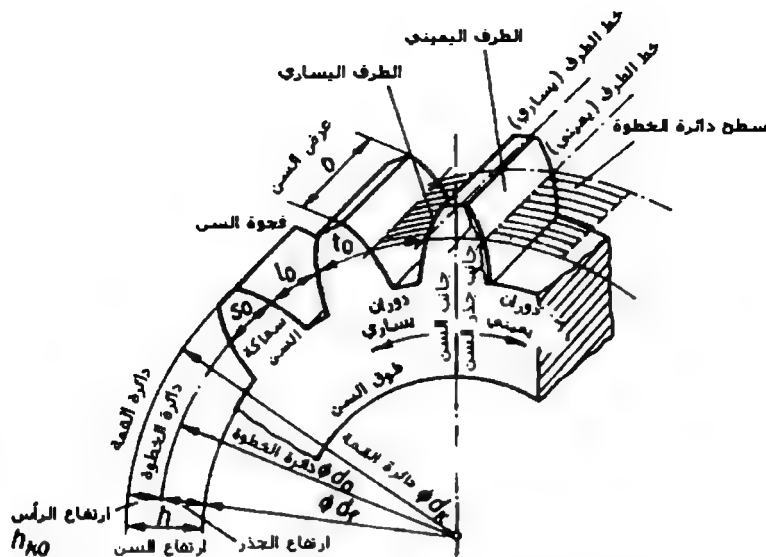
$h_{kw}$  ارتفاع رأس الأداة (ارتفاع الرأس

بالنسبة لمسقط الأداة)

$$h_{kw} = 1.167 m \text{ أو } h_{kw} = 1.25 m$$

ارتفاع رأس الأداة، قيمة عادية (حسب

المسقط I حتى IV)



الشكل 348 مميزات ومواصفات السن ذو الأسنان المستقيمة

$$h_0 = h_{k0} + h_{r0} = h_{k0} + h_{kw} \quad \text{ارتفاع السن}$$

$$d_k = d_0 + 2h_{k0} = m(z + 2) \quad \text{قطر دائرة الأساس}$$

$$d_r = d_0 + 2h_{r0} = d_0 - 2h_{kw} \quad \text{بعد المحور لآلية الصفر وآلية الصفر - V أو}$$

$$a_0 = \frac{d_{01} + d_{02}}{2} = \frac{m}{2} (z_1 + z_2) \quad \text{قيم حسابية لآلية V}$$

$$a = \frac{d_{b1} + d_{b2}}{2} = a_0 \frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha_b} \quad \text{بعد المحور للآلية V}$$

$$a = \frac{d_{b1} + d_{b2}}{2} = a_0 \frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha_b} \quad \text{زاوية المحور } \alpha = 20^\circ$$

$$a = \frac{d_{b1} + d_{b2}}{2} = a_0 \frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha_b} \quad \text{زاوية هجوم التشغيل } \alpha_b \neq \alpha_0$$

$$d_{k1} = 2(a + m - x_2m) - d_{02} \quad \text{أقطار الدائرة الاسطوانية للتشغيل } d_{b2}, d_{b1}$$

$$d_{k2} = 2(a + m - x_1m) - d_{01} \quad \text{قطر دائرة الرأس للمسنن V (مع تقصير الرأس)}$$

$$d_r = d_0 - 2(h_{kw} - xm) \quad \text{قطر دائرة الأساس للمسنن V}$$

$$x_1 + x_2 = \frac{ev \alpha_b - ev \alpha_0}{2 \tan \alpha_0} (z_1 + z_2)$$

بمجموع عوامل الانزياح للمسقط  
تجزئة مجموع عوامل الانزياح للمسقط  
حسب عدد الأسنان ونسبة النقل  
للمسنتات.

$$ev \alpha = \tan \alpha - a$$

التابع الانقليبي

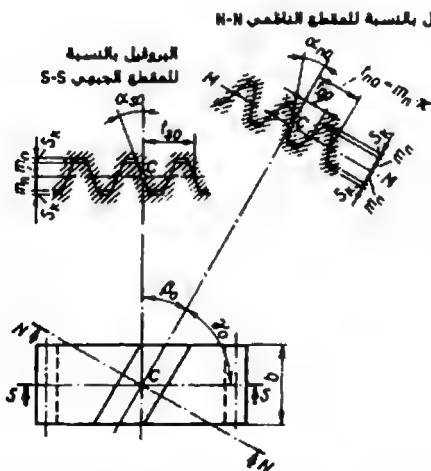
أو  $ev \alpha_b$  قيم التتابع الانقليبية

$$e_p = \frac{\sqrt{d_{k1}^2 - d_{g1}^2} + \sqrt{d_{k2}^2 - d_{g2}^2} - 2a \sin \alpha_b}{2t_0 \cos \alpha_0}$$

$$d_s = d_0 \cos \alpha_0 = d_b \cos \alpha_b$$

قطر الدائرة الأساسية

تحديد القيم والحسابية للمسند المائل مع تعشيق انقليبي



الشكل 349 مسند ذو أسنان مائلة ومقطعين ناظمي وجيهي

$$m_g = \frac{m_n}{\cos \beta_0}$$

المودول الجبهي

$m_n$  مودول الطبيعي، نظامي (ستاندر)

$\beta_0$  زاوية الميل  $20^\circ \dots 8^\circ$

$$t_{g0} = \pi m_g$$

الخطوة المائلة

$$t_{n0} = \pi m_n$$

الخطوة الطبيعية

$$\tan \alpha_{g0} = \frac{\tan \alpha_{n0}}{\cos \beta_0}$$

$\alpha_{g0}$  زاوية الهجوم الجبهي

$$z_n = z_v = \frac{z}{\cos^3 \beta_0}$$

عدد أسنان المسنن المستقيم المكافئ

(عدد الأسنان الحقيقي)

$$d_0 = z m_g = z \frac{m}{\cos \beta_0}$$

قطر دائرة الخطوة

$$d_k = d_0 + 2m_n = \left( \frac{z}{\cos \beta_0} + 2 \right)$$

قطر دائرة الرأس (مسنن الصفر)

$$d_f = d_0 - 2h_{kw}$$

قطر دائرة الجذر (مسنن الصفر)

$$a_0 = \frac{d_{01} + d_{02}}{2} = \frac{m_n}{2 \cos \beta_0} (z_1 + z_2) \quad V$$

مسافة المحور لآلية الصفر وآلية الصفر - V

أو القيم الحسابية للآلية V

$$a = \frac{d_{b1} + d_{b2}}{2} = a_0 \frac{\cos \alpha_{s0}}{\cos \alpha_{sb}}$$

بعد المحور للآلية — V

$\alpha_{sb}$  زاوية هجوم التشغيل في المقطع الجبهي

$$d_{k1} = 2(a + m_n - x_2 m_n) - d_{02}$$

قطر دائرة الرأس للمسنن V (مع تقصير

$$d_{k2} = 2(a + m_n - x_1 m_n) - d_{01}$$

رأسي)

$$d_f = d_0 - 2(h_{kw} - x m_n)$$

قطر دائرة الأساس للمسنن V

$$x_1 + x_2 = \frac{ev \alpha_{sb} - ev \alpha_{s0}}{2 \tan \alpha_{n0}} (z_1 + z_2)$$

مجموع عوامل انزياح البروفيل

يتم تجزئة مجموع عوامل انزياح البروفيل

حسب عدد الأسنان ونسبة النقل للمسنن



$$\epsilon_p = \frac{\sqrt{d_{k1}^2 - d_{g1}^2} + \sqrt{d_{k2}^2 - d_{g2}^2} - 2a \sin \alpha_{sb}}{2t_{s0} \cos \alpha_{s0}} \quad \text{درجة تغطية البروفيل}$$

$$\epsilon_{sp} = \frac{b \tan \beta_0}{t_{s0}} \quad \text{تغطية القفزة}$$

$$\epsilon_{ges} = \epsilon_p + \epsilon_{sp} \quad \text{درجة التغطية الكلية}$$

تحديد القيم الحسابية للمسند المخروطي ذو الأسنان المستقيمة  
مع تعشيق انقليزي (آلية الصفر)

$$\delta_A = \delta_{o1} + \delta_{o2} \quad \text{زاوية المحور}$$

$$\tan \delta_{o1} = \frac{\sin \delta_A}{\frac{z_2}{z_1} + \cos \delta_A} \quad \delta_{o1}, \delta_{o2} \text{ زوايا المخروط}$$

$$\tan \delta_{o2} = \frac{\sin \delta_A}{\frac{z_1}{z_2} + \cos \delta_A}$$

$$d_0 = zm \quad \text{قطر الدائرة الجزئية}$$

$$d_{m0} = d_0 - b \sin \delta_0 \quad \text{القطر الوسطي}$$

$$b \leq b_{\max} = \frac{R_a}{3} \quad \text{عرض السن}$$

$$R_a = \frac{d_{o1}}{2 \sin \delta_{o1}} = \frac{d_{o2}}{2 \sin \delta_{o2}} \quad \text{نصف قطر للمسند}$$

$$d_{r0} = \frac{d_{m0}}{\cos \delta_0} \quad \text{قطر الدائرة الجزئية للمسند الجبهي}$$

$$z_r = \frac{z}{\cos \delta_0} \quad \text{الوسطي المكافئ}$$

$$m_m = m_r = \frac{d_{m0}}{z} = \frac{d_{r0}}{z_r} \quad \text{عدد الأسنان التكيفي}$$

$$= d_0 + 2h_k \cos \delta_0 \quad d_k \quad \text{المودول الوسطي، مودول المسند الجبهي المكافئ}$$

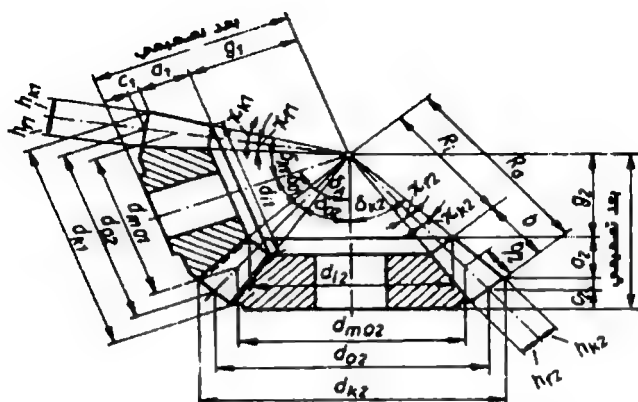
$$\text{قطر دائرة الرأس}$$

$$\tan x_k = \frac{h_k}{R_a}$$

$x_k$  زاوية الرأس

$$\delta_k = \delta_0 + x_k$$

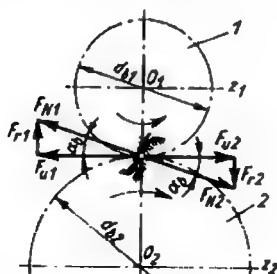
زاوية المخروط الرأسية



الشكل 350 زوج مسننات مخروطية - ذات أسنان مستقيمة

## 2.12 القوى في المسننات

المسننات الجبهية ذات الأسنان المستقيمة



الشكل 351 القوى في مسننين جهيين ذوات أسنان مستقيمة

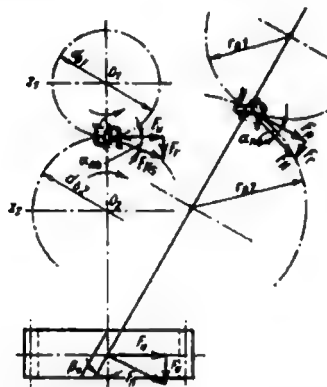
$$F_{U1} = F_{U2} = F_U = \frac{2M_{t1}}{d_{b1}} = \frac{2M_{t2}}{d_{b2}} \quad \text{القوة المحيطة}$$

$$F_{U01} = F_{U02} = F_{U0} = \frac{2M_{t1}}{d_{o1}} = \frac{2M_{t2}}{d_{o2}} \quad \text{القوة المحيطة في دائرة الخطوة}$$

$$F_{n1} = F_{n2} = F_n = \frac{F_U}{\cos \alpha_b} = \frac{F_{U0}}{\cos \alpha_0} \quad \text{القوة الناعمية (القوة في خط الهجوم)}$$

$$F_{r1} = F_{r2} = F_r = F_U \tan \alpha_b = F_{U0} \tan \alpha_0 \quad \text{القوة القطرية}$$

المسنتات الجبهية ذات الأسنان المائلة



الشكل 352 القوى في مسنتين جبهيين ذات أسنان مائلة

$$F_{U1} = F_{U2} = \frac{2M_{t1}}{d_{b1}} = \frac{2M_{t2}}{d_{b2}} \quad \text{القوة المحيطة}$$

$$F_{U01} = F_{U02} = F_{U0} = \frac{2M_{t1}}{d_{o1}} = \frac{2M_{t2}}{d_{o2}} \quad \text{القوة المحيطة في الدائرة الخطوية}$$

$$F_{a1} = F_{a2} = F_a = F_{U0} \tan \beta_0 \quad \text{القوة المحورية}$$

$$F_{r1} = F_{r2} = F_r = F_{U0} \frac{\tan \alpha_{n0}}{\cos \beta_0} \quad \text{القوة القطرية}$$

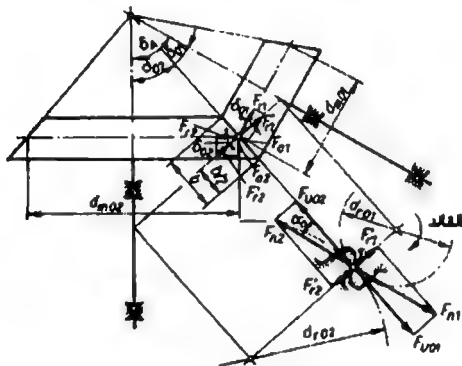
من أجل إيجاد قوى المضاجع وعزوم الانعطاف انظر الفقرة "المحاور والمحاور الدوارة".

حيث تم الحساب في مستويين مثلاً مستوي  $x, z$  ومستوي  $y, z$ . بعد ذلك يمكن حساب قوى المضاجع الناتجة وعزوم الانعطاف تخطيطياً.

المسنتات المخروطية ذات الأسنان المستقيمة (مسنن صفرى)

$$F_{U1} = F_{U2} = F_U = F_{U0} = \frac{2M_{t1}}{d_{mO1}} = \frac{2M_{t2}}{d_{mO2}} \quad \text{القوة المحيطة}$$

$$F_{n1} = F_{n2} = F_n = \frac{F_{U0}}{\cos \alpha_0} \quad \text{القوة الناعمية}$$



الشكل 353 القوى في المسنتات المخروطية ذات الأسنان المستقيمة

$$F_{t1} = F_{U0} \tan \alpha_0 \cos \delta_{01} \quad \text{القوى القطرية}$$

$$F_{t2} = F_{U0} \tan \alpha_0 \cos \delta_{02}$$

$$F_{a1} = F_{U0} \tan \alpha_0 \sin \delta_{01} \quad \text{القوى المحورية}$$

$$F_{a2} = F_{U0} \tan \alpha_0 \sin \delta_{02}$$

من أجل إيجاد قوى المضاجع وعزوم الانعطاف انظر الفقرة "المحاور والمحاور الدوارة"

### 3.12 قابلية الحمل

مستندات ذات أسنان مستقيمة

$$\sigma_b = \frac{F_{U0}}{bm} q_k q_\epsilon$$

إجهاد الانعطاف في جذر السن

$q_k$  عامل الشكل (الشكل 354)

$q_\epsilon$  عامل التغطية

$$q_\epsilon = \frac{1}{\epsilon} \quad \text{عند} \quad q_L \leq \frac{1}{\epsilon}$$

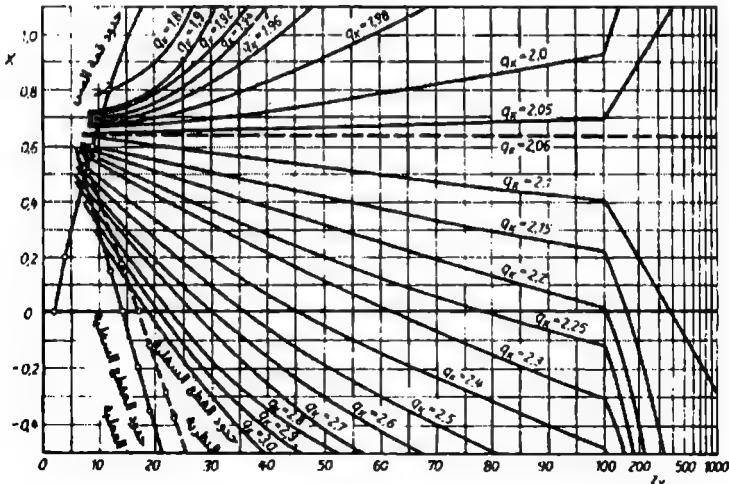
$$q_\epsilon = q_L \quad \text{عند} \quad q_L > \frac{1}{\epsilon}$$

$q_L$  عامل توزيع الحمل (الشكل 355)

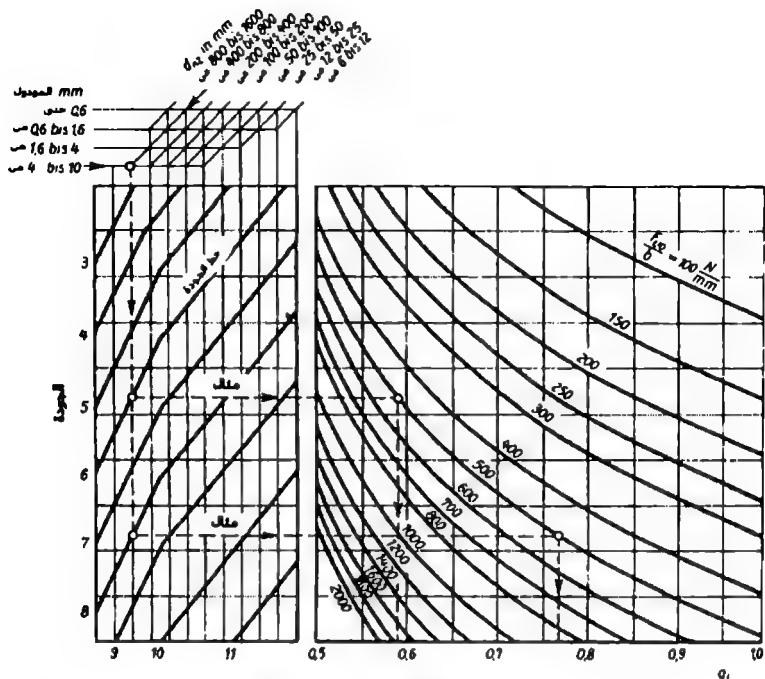
إجهاد الانعطاف المسموح به في جذر السن

$\sigma_{fromG}$  متانة الهيكل

$S_D$  عامل الأمان، وبشكل عام  $S_D = 1.5$



الشكل 354 عامل الشكل  $q_k$  من أجل  $\alpha_{n0} = 20$  عند تعشيق خارجي



الشكل 355 عامل توزيع الحمل  $q_L$

(الخطوط المنقطعة تبين إيجاد  $q_L$ ، عندما تكون  $m$ ،  $d_{o2}$ ،  $b$ ، نوعية  $F_{U0}$  معلومة)

$$m \approx \sqrt[3]{\frac{4M_{tI}}{z_I^2 \left(\frac{b}{d_{oi}}\right) \sigma_{bIaIIa}}}$$

الحساب التقريبي الأولي للمودول عند تطبيق  
إجهاد الانعطاف المسموح به في جذر السن

(الفرض:  $q_k = 2.25$ ;  $q_e = 0.9$ )

$$P_c = y_C y_w \sqrt{\frac{F_{U0}}{b d_{oi}} \frac{u + I}{u}}$$

الضغط الاسطواني في نقطة التلاقي C

$$y_C = \sqrt{\frac{I}{\cos^2 \alpha_0 \tan \alpha_b}}$$

عامل نقطة التلاقي  
(يمكن استخراجه أيضاً من المخطط)

$$y_w = \sqrt{0.35 \frac{2E_1 E_2}{E_1 + E_2}}$$

عامل المادة

(يمكن استخراجه أيضاً من الجدول)

$E_1, E_2$  مودول المطيلية للمستئين 1 و 2

$$p_{alla} = \frac{p_D}{S_D}$$

الضغط الاسطواني المسموح به

$p_D$  المتانة الدائمة (الانضغاط) لجوانب السن

$S_D$  عامل أمان وبشكل عام 1.5

$$m = \frac{1}{z_1^3} \sqrt{\frac{2M_{tl} y_w^2 y_c^2}{\left(\frac{b}{d_{ol}}\right)^2 p_{alla}^2} \cdot \frac{u+1}{u}}$$

الحساب الأولي للمودول عند تطبيق الضغط

الاسطواني المسموح به

المستينات ذات الأسنان المائلة

$$\sigma_b = \frac{F_{U0}}{b m_n} q_k q_e$$

إجهاد الانعطاف لجذر السن

$\sigma_{b,alla}, q_e, q_k$  انظر حساب المسنن ذو

الأسنان المستقيمة

$$m_n \approx \sqrt[3]{\frac{4M_{tl} \cos^2 \beta_0}{z_1^2 \left(\frac{b}{d_{ol}}\right) \sigma_{bzul}}}$$

الحساب التقريبي الأولي للمودول الطبيعي

عند تطبيق إجهاد الانعطاف المسموح به في

جذر السن (الفرض:  $q_k = 2.25; q_e = 0.9$ )

$$p_c = y_w y_C y_\beta \sqrt{\frac{F_{U0}}{b d_{ol}} \cdot \frac{u+1}{u}}$$

الانضغاط الأسطواني في نقطة التلاقي C

$$y_C = \sqrt{\frac{\cos \beta_g}{\cos^2 \alpha_{s0} \tan \alpha_{sb}}}$$

عامل نقطة التلاقي

(يمكن أيضاً استخراجه من المخطط)

$$\sin \beta_g = \sin \beta_0 \cos \alpha_{r0}$$

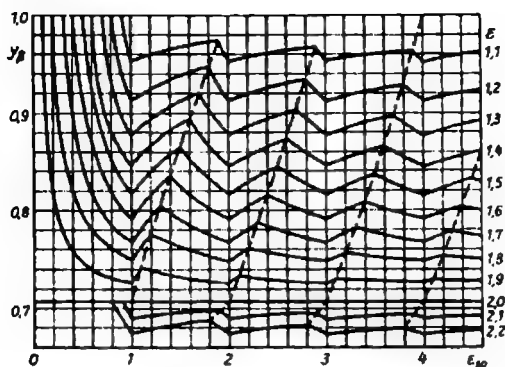
$\beta_g$  زاوية الميل الأساسية، زاوية الإمالة في

الاسطوانة الأساسية.

$y_\beta$  عامل طول السن الشكل 356

$y_w, p_{alla}$  انظر حساب المسنن ذو الأسنان

المستقيمة



الشكل 356 عامل طول السن  $y_{\beta}$  من أجل  $\alpha_{n0} = 20^\circ$

$$m_n = \frac{\cos \beta_0}{z_1} \sqrt[3]{\frac{2M_{II} y_w^2 y_c^2 y_{\beta}^2 u + I}{\left(\frac{b}{b_{ol}}\right) p a l a^2 u}}$$

الحساب الأولي للمودول الطبيعي  
عند تطبيق الضغط الاسطواني  
المسموح به

السننات المخروطية المتعاشقة بأسنان مستقيمة (مسننات صفرية)

$$\sigma_b = \frac{F_{U0}}{b m_m} q_{ke} q_{ze}$$

إجهاد الانعطاف في جذر السن

$q_{ke}$  عامل الشكل للمسنن المكافئ (يمكن استخراجه

من الشكل 354)

$q_{ze}$  عامل التغطية للمسنن المكافئ (يحسب بشكل مطابق

للمسنن ذو الأسنان المستقيمة)

$\sigma_{b_{all}}$  انظر حسابات المسنن ذو الأسنان المستقيمة

$$p_c = y_c y_w \sqrt{\frac{F_{U0} u_e + I}{b d_{e1} u_e}}$$

الضغط الاسطواني في نقطة التلاقي C

$u_e$  نسبة عدد الأسنان للمسنن المكافئ

لأنه مسنن صفرى  $d_{e1} = d_{oe1}$

$p_{all}$ ،  $y_w$ ،  $y_c$  انظر حساب المسنن ذو الأسنان

المستقيمة



## 4.12 آلية المسننات

الآلية المرحلية الهندسية

$$n_z = n_{z-1} \varphi = n_{z-2} \varphi^2$$

قانون التشكيل لعدد الدورات

z عدد المراحل

بجال عدد الدورات

$$B = \frac{n_z}{n_1} = \frac{n_{\max}}{n_{\min}}$$

القفرة المرحلية

$$\varphi = \frac{n_z}{n_{z-1}} = \sqrt[z]{\frac{n_{\max}}{n_{\min}}} = z \sqrt[z]{B}$$

$\varphi$  النظامية، مثلاً لآلات التشكيل

حسب السلسلة الأساسية

$$R_{20} \approx \varphi = \sqrt[20]{10} = 1.12$$

والسلاسل المشتقة هي:

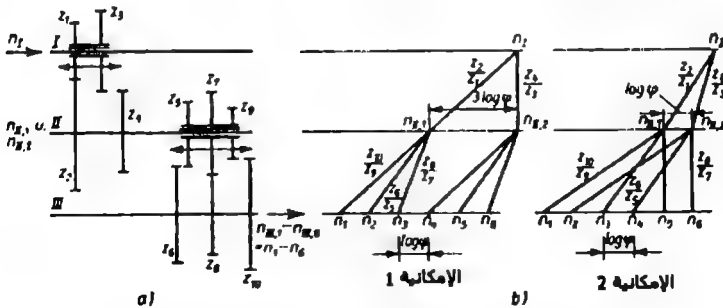
$$R_{20/2} \wedge \varphi = 1.25$$

$$R_{20/3} \wedge \varphi = 1.4$$

$$R_{20/4} \wedge \varphi = 1.6$$

$$R_{20/6} \wedge \varphi = 2.0$$

الأشكال التخطيطية لتمثيل الآليات بمخطط الآلية وشكل عدد الدورات (الشكل 357)



(الشكل 357). (a) مخطط الآلية (b) مخطط عدد الدورات

مثال لآلية ذات ست مراحل انتقالية مع إكمانيتين لمخطط عدد الدورات

$$i_{tot} = i_1 i_2 i_3 \dots = \frac{n_{drive}}{n_{driven}}$$

نسبة النقل الكلية (بشكل عام)

$i_1, i_2, i_3, \dots$  نسبة النقل المنفردة

بجاءل نسبة النقل المنفردة (مثلاً آلات التشكيل)

$n_{drive}$  عدد دورات البكرة القائد

$n_{driven}$  عدد دورات البكرة المقاد

نسبة النقل الكلية (الإجمالية)

(خاصة للآلية حسب الشكل 357 في الؤضع

المرسوم)

$$i_{tot} = \frac{n_I}{n_{II,I}} \cdot \frac{n_{II,I}}{n_{III,3}} = \frac{n_I}{n_3} = \frac{n_{drive}}{n_{driven}}$$

$$i_{tot} = \frac{z_2}{z_1} \cdot \frac{z_8}{z_7}$$

$$\eta_{tot} = \eta_{v1} \eta_{v2} \dots \eta_{w1} \eta_{wII} \dots$$

المردود الإجمالي

$$\eta_{tot} = \frac{P_{drive}}{P_{driven}}$$

$\eta_{v1}, \eta_{v2}$  المراديد المستقلة لتعشيق ما

$\eta_v = 0.99$  بشكل عام

$\eta_{w1}, \eta_{wII}$  المراديد المستقلة لمضجع محور دوار

$\eta_w = 0.97 \dots 0.99$  بشكل عام

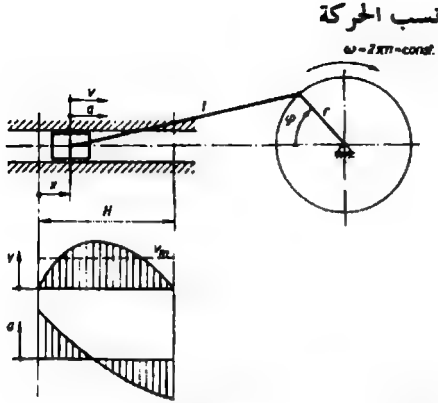
$P_{drive}$  استطاعة المقاد

$P_{drive}$  استطاعة القائد

$$\frac{M_{I2}}{M_{II}} = \frac{n_I}{n_2} \eta_v$$

نسبة استطاعة مسننين هؤوميين

### 13. آلية الذراع المرفقية



مخطط السرعة والتسارع من  
 أجل  $0 < \varphi < 180^\circ$   
 من أجل  $180^\circ < \varphi < 360^\circ$   
 مخطط شكل انعكاسي

الشكل 358 قيم الحركة في آلية الذراع المرفقية المركزية

$$\varphi = \omega t$$

زاوية الذراع

الزمن  $t$

$$\omega = 2\pi n = \text{const.}$$

السرعة الزاوية للذراع

$n$  عدد دورات الذراع

$$H = 2r$$

ارتفاع الشوط

$$\lambda = \frac{r}{l}$$

نسبة القطر إلى ذراع الشوط

$$x = r \left( 1 - \cos \varphi + \frac{1}{2} \lambda \sin^2 \varphi \right)$$

مسافة القيادة المستقيمة

$$v = r\omega \left( \sin \varphi + \frac{1}{2} \lambda \sin 2\varphi \right)$$

سرعة الحركة المستقيمة

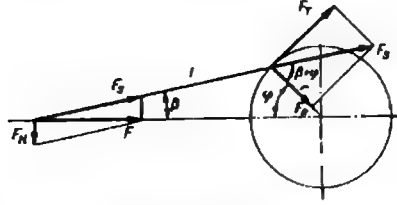
$$a = r\omega^2 (\cos \varphi + \lambda \cos 2\varphi)$$

تسارع الحركة المستقيمة

$$a_m = 2Hn$$

سرعة الشوط الوسطية

## القوى في آلية الذراع المرفقية



الشكل 359 القوى في آلية الذراع المرفقية المركزية

$$F_N = F \tan \beta$$

القوة الناعمية

$$F_S = -\frac{F}{\cos \beta}$$

قوة ذراع المرفق

$$F_T = F \frac{\sin(\beta + \phi)}{\cos \beta}$$

القوة المماسية (المحيطية)

$$F_R = F \frac{\sin(\beta + \phi)}{\cos \beta}$$

القوة القطرية

F القوة في الحركة المستقيمة

## 14. العناصر الهيدروليكية

### 1.14 المعادلات الأساسية

$$p = \frac{F}{A}$$

الضغط

F القوة A المساحة

$$Q = \frac{V}{t}$$

التدفق، الكمية

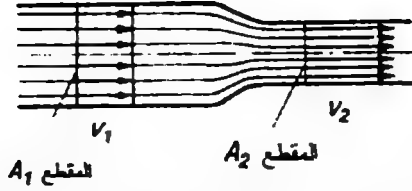
V الحجم t الزمن

$$Q = A_1 v_1 = A_2 v_2$$

معادلة الاستمرار (الشكل 360)

A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> مقاطع الأنابيب

v<sub>1</sub>, v<sub>2</sub> سرعات التدفق



الشكل 360 سرعات التدفق عند مقاطع أنبوب مختلفة

$$p + \rho gh + \frac{\rho v^2}{2} = \text{const}$$

معادلة Bernoulli

$p$  الضغط الستاتيكي

$\rho gh$  ضغط الثقالة، يهمل بشكل عام في

الوحدات الهيدروليكية

$\frac{\rho v^2}{2}$  ضغط التخزين

$\rho$  الكثافة

$$Re = \frac{dv\rho}{\eta} = \frac{dv}{\nu}$$

قانون التشابه - رقم Reynolds

$\eta$  اللزوجة الديناميكية

$$Re_{crit} = 2320$$

رقم Reynolds الحرج في أنبوب ذو

$$Re_{\text{منظم}} < Re_{crit} < Re_{\text{عشوائي}}$$

مقطع دائري

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}$$

اللزوجة الحركية

$$\Delta V = V_1 - V_2 = \beta_v V_1 (p_1 - p_2)$$

تغير الحجم

$V_1$  الحجم البدائي

$V_2$  الحجم النهائي

$p_1$  الضغط البدائي

$p_2$  الضغط النهائي

$$\Delta p = \lambda \frac{\rho v^2}{2d}$$

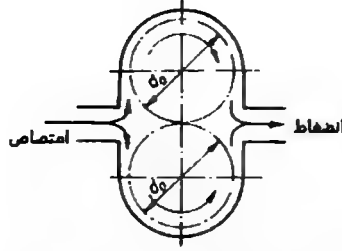
هبوط الضغط في أنبوب مستقيم

$\lambda = f(Re)$  عامل المقاومة

$\lambda = \frac{64}{Re}$	عامل المقاومة في تدفق صفحي مع ثبات درجة الحرارة
$\lambda = \frac{75}{Re}$	عامل المقاومة في تدفق صفحي، غير ثابت درجة الحرارة
$\lambda = \frac{0.3164}{Re^{0.25}}$	عامل المقاومة في تدفق مضطرب
$\Delta p = \zeta \frac{\rho v^2}{2}$	هبوط الضغط في المقاومات المحلية (الحناء، تنريعة، صمامات، ... الخ)
$Q_L = \frac{\pi d_m^3 \Delta P}{12 \eta l}$	$\zeta$ عامل الاحتكاك (يؤخذ من المراجع) ضياغات المائع، كمية التسرب أثناء الجريان في قناة حلقة مركزة
	$s$ سماكة الجرى
	$d_m$ القطر الوسطي (القطر الاسمي)
	$\Delta p$ اختلاف الضغط
	$l$ طول الجرى
$P = Qp = Fv$	الاستطاعة (أساسية)

## 2.14 المضخات

$Q_{Pth} = V_{Pth} n_P$	تدفق النقل النظري
	$n_P$ عدد دورات المضخة
$V_{Pth} = 2\pi d_0 m b$	حجم النقل النظري للمضخة المستننة (تقريبي)
	$d_0$ قطر الدائرة الخطوية
	$b$ عرض المسنن
	$m$ المودول



الشكل 361 مضخة متنية (تخطيطي)

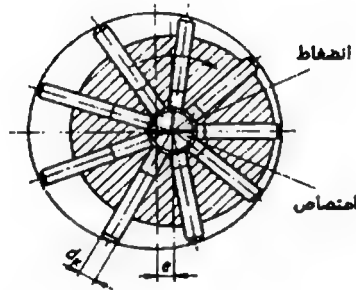
$$V_{Pth} = \frac{\pi d_K^2}{4} 2ez$$

تدفق النقل النظري للمضخة المكبسية القطرية

$d_K$  قطر المكبس

$z$  عدد المكابس

$e$  اللا مركزية



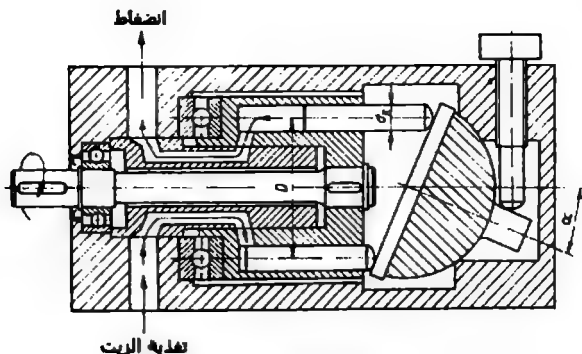
الشكل 362 مضخة مكبسية قطرية (تخطيطي)

$$V_{Pth} = \frac{\pi d_K^2}{4} ZD \tan \alpha$$

حجم النقل النظري للمضخة المكبسية المحورية

$D$  القطر الدائري للثقب

$\alpha$  زاوية تعيير القرص المائل



الشكل 363 مضخة مكبسية محورية

$$Q_{Pactu} = Q_{Pth} \eta_{Pvol}$$

التدفق الحقيقي

$$P_{Pn} = Q_{Pactu} p_p$$

$\eta_{Pvol}$  المردود الحجمي

استطاعة النقل، استطاعة المفيدة

$p_p$  ضغط النقل

$$P_{Pdrive} = \frac{P_{Pn}}{\eta_{Pges}} = \frac{Q_{Pactu} p_p}{\eta_{Ptot}}$$

استطاعة التشغيل

$$\eta_{Ptot} = \eta_{Pvol} \eta_{Pmec}$$

المردود الإجمالي

$\eta_{Pmec}$  المردود الميكانيكي

### 3.14 المحركات

#### محركات الحركة الدائرية

$$Q_{mth} = V_{mth} n_m$$

تيار الشحنة النظرية

$n_m$  عدد دورات المحرك

$V_{mth}$  حجم الشحنة النظرية للمحرك تحسب

من قياسات المحرك بشكل يطابق حساب

التدفق النظري للمضخة



$$Q_{mactu} = \frac{Q_{mth}}{\eta_{mvot}}$$

تيار الشحنة الحقيقية

$\eta_{Mvol}$  المردود الحجمي

$$P_{mAb} = P_K = Q_{mactu} p_M \eta_{mtot}$$

الاستطاعة المقادة، استطاعة الواصل

$p_M$  ضغط العمل

$$\eta_{mtot} = \eta_{mvot} \eta_{mmec}$$

المردود الكلي

$\eta_{mmec}$  المردود الميكانيكي

$$* M_{tM} = 97400 \frac{P_{MAb}}{\eta_M} \quad \begin{array}{|c|c|c|} \hline M_{tM} & P_{MAb} & \eta_M \\ \hline \text{kp cm} & \text{kW} & \text{l/min} \\ \hline \end{array}$$

أو

$$* M_{tM} = 9550 \frac{P_{MAb}}{\eta_M} \quad \begin{array}{|c|c|c|} \hline M_{tM} & P_{MAb} & \eta_M \\ \hline \text{Nm} & \text{kW} & \text{l/min} \\ \hline \end{array}$$

عزم الدوران على محور المحرك

محركات الحركة المستقيمة

اسطوانة العمل مع مكبس قرصي



الشكل 364 اسطوانة عمل مع مكبس قرصي

$$F_A = \frac{\pi}{4} [d_K^2 p_1 - (d_K^2 - d_{St}^2) p_2] \eta_{mec}$$

قوة الرفع عند الخروج

$$F_E = \frac{\pi}{4} [(d_K^2 - d_{St}^2) p_1 - d_K^2 p_2] \eta_{mec}$$

قوة الرفع عند الإقلاع

$p_1$  ضغط العمل

$p_2$  الضغط العكسي

$p_1 \gg p_2$  بشكل عام

$d_K$  قطر المكبس

$d_{St}$  قطر عمود المكبس

$\eta_{mech}$  المردود الميكانيكي

سرعة الرفع عند الخروج (إنهاء)

$$v_A = \frac{Q}{\frac{\pi d_K^2}{4}}$$

$$v_E = \frac{Q}{\frac{\pi}{4}(d_K^2 - d_{St}^2)}$$

سرعة الرفع عند الإقلاع

$Q$  تدفق الشحنة

زمن الرفع عند الخروج

$$t_A = \frac{l}{v_A} = \frac{\frac{\pi}{4} d_K^2 l}{Q}$$

زمن الرفع عند الإقلاع

$l$  طول الشوط

$$t_E = \frac{l}{v_E} = \frac{\frac{\pi}{4}(d_K^2 - d_{St}^2)l}{Q}$$

اسطوانة عمل مع مكبس غطاس



الشكل 365 اسطوانة عمل بمكبس غطاس

قوة الرفع عند الخروج

$p_l$  ضغط العمل

$d_K$  قطر المكبس

$\eta_{mec}$  المردود الميكانيكي

سرعة الرفع عند المخرج

$Q$  تدفق الشحنة

$$F_A = \frac{\pi d_K^2}{4} p_l \eta_{mec}$$

$$v_A = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} d_K^2}$$

$$t_A = \frac{l}{v_A} = \frac{\frac{\pi}{4} d_K^2 l}{Q}$$

زمن الرفع عند المخرج

l طول الرفع

باعتبار أن اسطوانة العمل بمكبس غطاس مع مردود بسيط، يمكن بلوغ الإقلاع فقط خلال تأثيرات خارجية للقوة.

# آلات العمل والقوة

## 1. حساب الاحتراق

إن القيم التالية منسوبة إلى وحدات الكمية لمادة الاحتراق. إذاً في الحالة الصلبة والسائلة لمادة الاحتراق على 1 kg مادة احتراق وفي الحالة الغازية لمادة الاحتراق على 1 m<sup>3</sup> غاز احتراق في الشروط النظامية.

تعطى جميع الحجم دائماً في الشروط النظامية، (0 °C , 101.3 kPa) هذا يعني بأن m<sup>3</sup> هي m<sup>3</sup> في الشروط النظامية.

تحتوي 1 kg من مادة الاحتراق الصلبة أو السائلة على الأجزاء التالية بـ kg/kg أو بأجزاء الكميات

$$c + h + s + o + n + w + a = 1 \text{ kg/kg}$$

إن 1 m<sup>3</sup> من مادة الاحتراق الغازية تحتوي على الأجزاء التالية بـ m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> أو بأجزاء الحجم

$$\text{CO} + \text{H}_2 + \text{CH}_4 + \text{C}_m\text{H}_n + \text{H}_2\text{S} + \text{O}_2 + \text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} = 1 \text{ m}^3/\text{m}^3$$

### 1.1 حرارة الاحتراق وقيم التسخين

يجب التمييز هنا بين حرارة الاحتراق (قيمة التسخين العليا)  $\Delta_v h$  وقيمة التسخين (قيمة التسخين الدنيا)  $\Delta_H h$  بـ kJ/kg في مواد الاحتراق الصلبة والسائلة و kJ/m<sup>3</sup> في المواد الغازية.

$$\Delta_H h = \Delta_v h - 2500 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} (9h + w)$$

إن قيمة التسخين  $\Delta_{Hh}$  بوحدة kJ/kg لمادة الاحتراق الصلبة والسائلة

$$\Delta_{Hh} = 33910c + 117200\left(h - \frac{o}{8}\right) + 10470s - 2500w$$

$$\Delta_{vh} = (1 - a - w) \Delta_{vh}' \quad \Delta_{vh}' \text{ حرارة الاحتراق للفحم الصافي}$$

(الخالي من الرماد والماء)

$$\Delta_{Hh} = (1 - a - w) \Delta_{Hh}' - 2500w \quad \Delta_{Hh}' \text{ قيمة التسخين للفحم الصافي}$$

من أجل مواد الاحتراق الغازية بوحدة kJ/m<sup>3</sup> نطبق:

$$\Delta_{Hh} = 12620 \text{ CO} + 10790 \text{ H}_2 + 35800 \text{ CH}_4 + 64300 \text{ C}_2\text{H}_6 + \dots$$

$$\Delta_{vh} = 12600 \text{ CO} + 12800 \text{ H}_2 + 39900 \text{ CH}_4 + 70400 \text{ C}_2\text{H}_6 + \dots$$

## 2.1 حساب الاحتراق للمواد الصلبة والسائلة

سمات ومميزات للمواد الصلبة والسائلة

المزايا لـ:

$$\sigma = 1 + \frac{3}{c} \left( h - \frac{o-s}{8} \right) \quad \text{للاحتياج الأصغري للأكسجين}$$

$$\omega = \frac{2.9h + w}{3c} \quad \text{لمحتوى بخار الماء}$$

$$\zeta = \frac{3s}{8c} \quad \text{لمحتوى الكبريت}$$

$$v = \frac{3n}{7c} \quad \text{لمحتوى الآزوت}$$

$$\chi = 1 + \zeta + v + 3.76 \sigma \quad \text{المحتوى الأعظمي لـ CO}_2 \text{ للغاز المدخن}$$

$$K = 1.867c \frac{m^3}{kg} \quad K \text{ حجم CO}_2 \text{ الذي ينتج من 1 kg مادة احتراق صلبة}$$

أو سائلة

للاحتراق التام مع الاحتياج الأصغري النظري للأكسجين نطبق:

$$V_{O-\min} = K\sigma \quad m^3/kg \text{ الاحتياج النظري للأكسجين}$$

$$V_{L-\min} = 4.76 K\sigma \quad m^3/kg \text{ الاحتياج النظري للهواء}$$

$$V_{TR-\min} = K\chi \quad m^3/kg \text{ حجم الغاز المدخن النظري الجاف}$$

$$V_{FR-\min} = K(\chi + \omega) \quad m^3/kg \text{ حجم الغاز المدخن الرطب النظري}$$

للاحتراق الكامل مع احتياج الهواء الحقيقي  $V_L$  نطبق:

$$V_L = \lambda V_{L-\min} = 4.76\lambda K\sigma \quad m^3/kg \text{ الهواء اللازم}$$

$$\lambda = \frac{V_L}{V_{L-\min}} \quad \lambda \text{ عامل نسبة الهواء}$$

$$V_{L-u} = V_L - V_{L-\min} = (\lambda - 1)V_{L-\min} \quad m^3/kg \text{ الهواء الفائض}$$

$$V_{TR} = V_{TR-\min} + V_{L-u} \quad m^3/kg \text{ حجم غاز المدخن الجاف}$$

$$V_{TR} = K[\chi + 4.76(\lambda - 1)\sigma]$$

$$V_{FR} = V_{TR} + K\omega = V_{FR-\min} + V_{L-u} \quad m^3/kg \text{ حجم الغاز المدخن الرطب}$$

$$V_{FR} = K[\chi + \omega + 4.76(\lambda - 1)\sigma]$$

$$*m_{FR} = 1 - a + 1.293 V_L \quad kg/kg_{Br} \text{ كمية الغاز المدخن الرطب}$$

$$\rho_{FR} = \frac{m_{FR}}{V_{FR}} \quad kg/m^3 \text{ كثافة الغاز المدخن الرطب}$$

$$M_{FR} = 22.4 \frac{m^3}{kmol} \rho_{FR} \quad \text{الكتلة المولية الظاهرية في الغاز المدخن الرطب}$$

الأقسام المكونة لغاز الدخان  $m^3/kg$

$$V_{CO_2} = K \quad \text{حجم ثاني أكسيد الكربون}$$

$$V_{H_2O} = K\omega \quad \text{حجم بخار الماء}$$

$$V_{SO_2} = K\zeta$$

$V_{SO_2}$  حجم ثاني أكسيد الكبريت

$$V_{N_2} = K(v + 3.76\sigma)$$

$V_{N_2}$  حجم النتروجين

$$V_{O_2} = K(\lambda - 1)\sigma$$

$V_{O_2}$  حجم الأكسجين

$$\Sigma V_i = V_{FR}$$

$V_{FR}$  حجم الغاز المدخن الرطب

### 3.1 حساب الاحتراق للمواد الغازية

يمكن تطبيق العلاقات الناتجة لمواد الاحتراق الصلبة والسائلة على مواد الاحتراق للمواد الغازية، عندما تحسب للمواد الغازية بتعويض  $K'$  بدلاً من  $K$  القيم الناتجة هي قيم منسوبة إلى  $1 \text{ m}^3$  غاز احتراق في الشروط النظامية.

سمات مواد الاحتراق الغازية

$$K' = CO + CH_4 + m C_m H_n + CO_2$$

$K'$  حجم ثاني أكسيد الكربون للغاز المدخن لكل  $\text{m}^3$  غاز احتراق

$$\sigma = \frac{\frac{CO + H_2}{2} + 2CH_4 + \left(m + \frac{n}{4}\right)C_m H_n + \frac{3}{2}H_2S - O_2}{K'}$$

$\sigma$  عامل مميز لمادة الاحتراق لأقل احتياج من الأكسجين

$$\omega = \frac{H_2 + 2CH_4 + H_2O + H_2S + \frac{n}{2}C_m H_n}{K'}$$

$\omega$  عامل مميز لمادة الاحتراق لحتوى بخار الماء

$$\zeta = \frac{H_2S + SO_2}{K'}$$

$\zeta$  عامل مميز لمادة الاحتراق لحتوى الكبريت

$$v = \frac{N_2}{K'}$$

$v$  عامل مميز لمادة الاحتراق لحتوى النتروجين

$$\chi = \frac{1 + v + \zeta + 3.766\sigma}{K'}$$

$\chi$  عامل مميز لمادة الاحتراق  
للمحتوى الأعظمي لـ  $\text{CO}_2$   
محتوى الغاز المدخن

#### 4.1 تحديد عامل نسبة الهواء

$$\lambda = 1 + \frac{\text{O}_2}{\text{CO}_2\sigma}$$

محتوى  $\text{O}_2$  و  $\text{CO}_2$  المقاس في حجم الغاز المدخن  
الجاف.

$$\lambda = \frac{\text{CO}_{2\max}}{\text{CO}_2}$$

تطبق فقط لمادة الاحتراق الصلبة

$$\text{CO}_{2\max} = \frac{1}{\chi}$$

$\text{CO}_{2\max}$  أعظم محتوى  $\text{CO}_2$  لغاز الدخان هذا يعني،  
محتوى  $\text{CO}_2$  لغاز الدخان الرطب أثناء الاحتراق  
بأقل احتياج للهواء

#### 5.1 درجة حرارة الاحتراق النظرية $t_{th}$ بـ $^{\circ}\text{C}$

$$t_{th} = \frac{\Delta H_h + V_L C_{pn-L} \left| \begin{matrix} t_L \\ 0 \end{matrix} \right| + c_{p-Br} f_{Br}}{V_{FR} c_{pn-R} \left| \begin{matrix} f_L \\ 0 \end{matrix} \right|} \quad \begin{matrix} t_L \text{ درجة حرارة هواء الاحتراق بـ } ^{\circ}\text{C} \\ t_{Br} \text{ درجة حرارة مادة الاحتراق بـ } ^{\circ}\text{C} \end{matrix}$$

$$c_{pn} = \rho_n c_p$$

$c_{p-Br}$  السعة الحرارية النوعية الوسطية لمادة الاحتراق

$c_{pn-L}$  السعة الحرارية النوعية الوسطية للهواء  $\text{kJ}/(\text{m}^3 \text{K})$

$\rho_n$  الكثافة في الشروط النظامية النظامية بـ  $\text{kg}/\text{m}^3$

السعة الحرارية النوعية الوسطية لغاز الدخان  $c_{pn-R}$  بـ  $\text{kJ}/(\text{m}^3 \text{K})$



$$c_{Pn-R} = \frac{1}{V_{FR}} (V_{CO_2} c_{pn-CO_2} + V_{H_2O} c_{pn-H_2O} + V_{SO_2} c_{pn-SO_2} + V_{O_2} c_{pn-O_2} + V_{N_2} c_{pn-N_2})$$

الضياء الحراري  $Q_A$  الناتج عن طرد الغاز بـ  $kJ$  لكل وحدة كمية لمادة الاحتراق

$$Q_A = V_{FR} \left[ c_{pn-R} \left| \begin{matrix} t_A \\ 0 \end{matrix} t_A - c_{pn-R} \left| \begin{matrix} t_{LI} \\ 0 \end{matrix} t_{LI} \right. \right] \right.$$

$t_A$  درجة حرارة الغاز بـ  $^{\circ}C$

$$Q_A \approx c_{pn-R} \left| \begin{matrix} t_A \\ 0 \end{matrix} V_{FR} (t_A - t_{LI}) \right.$$

$t_{LI}$  درجة حرارة الهواء الخارجي بـ  $^{\circ}C$

$$q_A = \frac{Q_A 100\%}{\Delta_H h}$$

$q_A$  الضياء الغازي بـ % للحرارة المضافة

## 2. مولدات البخار

في هذه الفقرة تعطى جميع المحجوم لكل من غاز الاحتراق، وهواء الاحتراق، وغاز الدخان دائماً في الشروط النظامية ( $0^{\circ}C$  و  $101.3 \text{ kPa}$ )، هذا يعني أن  $m^3$  من هذه القيم دوماً بـ  $m^3$  في الشروط النظامية.

$$\dot{m}_B \text{ كمية المادة المحترقة الحقيقية بـ } \Delta_H h \text{ قيمة تسخين مادة الاحتراق بـ } kJ/m^3 \text{ أو } kg/s$$

$$\dot{m}_D \text{ كمية البخار بـ } kg/s \text{ } \dot{m}_B \text{ كمية مادة الاحتراق بـ } kg/s \text{ أو } m^3/s$$

$$t_{LI} \text{ درجة حرارة الهواء عند الدخول في مسخن الهواء الأولي بـ } ^{\circ}C \text{ } w \text{ محتوى الماء المتبقي بـ } \%$$

$$A_K \text{ مساحة تسخين المرجل بـ } m^2$$

$$t_{L2} \text{ درجة حرارة الهواء عند الخروج من مسخن الهواء الأولي بـ } ^{\circ}C \text{ } A_R \text{ مساحة الموقد بـ } m^2$$

$V_L$ هواء الاحتراق بـ $m^3/kg$ أو $m^3/m^3$	$h_u$ انتالي البخار خلف المسخن العالي $kJ/kg$
$V_{FR}$ حجم غاز الدخان بـ $m^3/kg$ أو $m^3/m^3$	$h''$ انتالي البخار المشبع $kJ/kg$
$c_{p,n-L}$ السعة الحرارية النوعية الوسطية للهواء $kJ/(m^3 K)$	$h_{w2}$ انتالي ماء التغذية بعد المسخن الأولي لماء التغذية
$c_{p,n-R}$ السعة الحرارية النوعية الوسطية لغاز الدخان $kJ/(m^3 K)$	$h_{w1}$ انتالي ماء التغذية قبل المسخن الأولي لماء التغذية
$k$ عامل النفوذ الحراري بـ $W/(m^2 K)$	$r$ حرارة التبخر $kJ/kg$
$\Delta t_m$ فرق درجات الحرارة الوسطي في المبادل الحراري	$t_1$ درجة حرارة غاز الدخان قبل المبادل الحراري $^{\circ}C$
$\eta_K$ مردود المرحل	$t_2$ درجة حرارة غاز الدخان بعد جهاز نقل الحرارة $^{\circ}C$

#### تعاريف ودلالات خاصة

$\dot{Q}_B = \dot{m}_B \Delta H h$	استطاعة التسخين الحارقة $kW$
$b_r = \frac{\dot{m}_B}{A_R}$	تحميل الموقد $kg/(m^2 h)$
$q_r = \frac{\dot{Q}_B}{A_R} = \frac{\dot{m}_B \Delta H h}{A_R}$	الحمل الحراري للموقد $kW/m^2$
$b_h = \frac{\dot{m}_D}{A_K}$	حمل سطح التسخين $kg/(m^2 h)$
$b_f = \frac{\dot{m}_D}{V_F}$	الحمل لحجرة النار $kg/(m^2 h)$
$q_f = \frac{\dot{Q}_B}{V_F} = \frac{\dot{m}_D \Delta H h}{V_F}$	الحمل الحراري لحجرة النار
$z = \frac{\dot{m}_D}{\dot{m}_B} = \frac{\Delta H h \eta_K}{h_u - h_{w1}}$	عامل التبخر $kg/kg$
$z_n = z \frac{h_u - h_{w1}}{2680 kJ/kg}$	عامل التبخر للتبخار الطبيعي، مقاسة بالواحدة $kg/kg$

البخار الطبيعي هو بخار مشبع جاف ذو درجة حرارة  $100^{\circ}\text{C}$ ، ينتج من ماء التغذية عند  $0^{\circ}\text{C}$  مع حرارة متولدة تبلغ  $2680 \text{ kJ/kg} = 640 \text{ kcal/kg}$ .

الاستطاعات الحرارية  $\text{kW}$

$$\dot{Q} = \dot{m}_D (h_u - h_{w1}) \quad \text{لوحة المرجل الإجمالية}$$

$$\dot{Q} = \dot{Q}_K + \dot{Q}_u + \dot{Q}_w$$

$$\dot{Q}_K = \dot{m}_D \left( h'' - h_{w2} - \frac{wr}{100\%} \right) \quad \text{للمبخر}$$

$$\dot{Q}_u = \dot{m}_D \left( h_u - h'' + \frac{wr}{100\%} \right) \quad \text{للمسخن الفائض}$$

$$\dot{Q}_w = \dot{m}_D (h_{w2} - h_{w1}) \quad \text{للمسخن الأولي لماء التغذية}$$

$$\dot{Q}_L = \dot{m}_B V_L c_{pn-L} \left| \begin{matrix} t_{L2} \\ 0 \end{matrix} (t_{L2} - t_{L1}) \right| \quad \text{للمسخن الأولي للهواء}$$

$$c_{pn-L} \left| \begin{matrix} t_{L2} \\ 0 \end{matrix} \right| \approx c_{pn-L} \left| \begin{matrix} t_{L2} \\ t_{L1} \end{matrix} \right|$$

لجهاز التسخين الزائد تطبق:

$$\dot{Q}_u = \dot{m}_D \left( h_u - h'' + \frac{wr}{100\%} \right) = \dot{m}_B V_{FR} \left[ c_{pn-R} \left| \begin{matrix} t_1 \\ 0 \end{matrix} t_1 - c_{pn-R} \left| \begin{matrix} t_2 \\ 0 \end{matrix} t_2 \right| \right]$$

$$A_u = \frac{\dot{m}_D \left( h_u - h'' + \frac{wr}{100\%} \right)}{k \Delta t_m} \quad \begin{matrix} A_u \text{ — } \text{m}^2 \text{ سطح التسخين لجهاز} \\ \text{التسخين الزائد} \end{matrix}$$

$$k = (30 \dots 70) \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$$

من أجل المسخن الأولي - لماء التغذية - لغاز الدخان تطبق:

$$\dot{Q}_w = \dot{m}_D (h_{w2} - h_{w1}) = \dot{m}_B V_{FR} \left[ c_{pn-R} \left| \begin{matrix} t_1 \\ 0 \end{matrix} t_1 - c_{pn-R} \left| \begin{matrix} t_2 \\ 0 \end{matrix} t_2 \right| \right]$$

$$A_w = \frac{\dot{m}_D (h_{w2} - h_{w1})}{k \Delta t_m} \quad \begin{matrix} A_w \text{ سطح التسخين للمسخن الأولي} \\ \text{لماء التغذية} \end{matrix}$$

$$k = (10 \dots 35) \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$$

من أجل المسخن الأولي للهواء نطبق

$$\dot{Q}_L = \dot{m}_B V_L c_{pn-L} \left[ t_{L2} - t_{L1} \right] = \dot{m}_B V_{FR} \left[ c_{pn-R} \left[ t_1 - c_{pn-R} \right] t_2 \right]$$

$$A_L = \frac{\dot{m}_B V_L c_{pn-L} \left[ t_{L2} - t_{L1} \right]}{k \Delta t_m}$$

سطح التسخين للمسخن  
الأولي لماء التغذية  $m^2$   
 $k = (10 \dots 30) \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$

المراديد والضياعات الحرارية

$$\eta_k = \frac{\dot{m}_D (h_u - h_{w1})}{\dot{m}_B \Delta H_h} = \eta_H \eta_F$$

مردود المرجل

$$\eta_F = \frac{\dot{m}_B}{\dot{m}_B}$$

مردود الاشتعال

$$\eta_H = \frac{\dot{m}_D (h_u - h_{w1})}{\dot{m}_B \Delta H_h}$$

مردود السطح الساخن

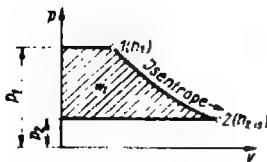
### 3. الآلات البخارية المكبسية

#### 1.3 الاستطاعات والمراديد

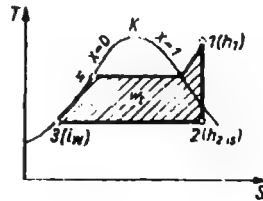
الاستطاعة النظرية للآلة البخارية بـ  $P_{th}$   $kW$

إن عملية المقارنة النظرية للآلة البخارية ذات مرجل بخاري هي دائرة Clausius-Rankine (انظر الشكل 366) بتمدد ايزونثروبي تام في الآلة البخارية (انظر مخطط  $p-v$  الشكل

(367)



الشكل 367

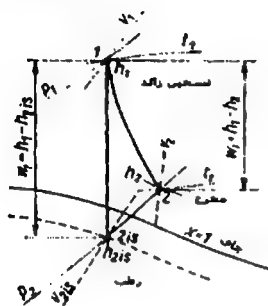


الشكل 366

$$P_{th} = \dot{m}_D w_t = \dot{m}_D (h_1 - h_{2is})$$

$$w_t = h_1 - h_{2is}$$

$$\eta_{th} = \frac{h_1 - h_{2is}}{h_1 - h_w}$$



الشكل 368

$$\eta_i = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_{2is}} = \frac{w_i}{w_t} = \frac{P_i}{P_{th}}$$

$$\eta_{th-i} = \eta_{th} \eta_i = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_w}$$

$$w_i = h_1 - h_2$$

$$P_i = \eta_i P_{th} = \dot{m}_D w_i = \dot{m}_D (h_1 - h_2)$$

$$P_e = \eta_m P_i = \eta_m \eta_i P_{th}$$

$$\eta_m = \frac{P_e}{P_i}$$

$$\eta_{tot} = \eta_m \eta_i \eta_{th} = \frac{P_e}{\dot{m}_D (h_1 - h_w)}$$

$$P_{tot} = \eta_{gen} \eta_u P_e$$

$P_{th}$  الاستطاعة النظرية بـ kW

$w_t$  العمل النظري للآلة البخارية عند تمدد

ايزونثروبي تام kJ/kg

$\eta_{th}$  المردود الحراري للآلة البخارية ذات

مرجل بخاري

$h_1$  انتالي البخار عند الدخول للآلة kJ/kg

$h_2$  انتالي البخار عند الخروج من الآلة

kJ/kg (شكل 368)

$h_{2is}$  انتالي البخار بعد تمدد ايزونثروبي

kJ/kg (شكل 368)

$h_w$  انتالي ماء التغذية عند الدخول للمرجل

kJ/kg

$\dot{m}_D$  معدل استهلاك البخار kg/s

$\eta_i$  المردود الداخلي أو درجة الجودة

$\eta_{th-i}$  المردود الحراري الدليلي

$w_i$  العمل الداخلي أو العمل الدليلي kJ/kg

$P_i$  الاستطاعة الداخلية أو

الاستطاعة الدليلية kW

$P_e$  استطاعة التوصيل

$\eta_m$  المردود الميكانيكي (0.85 ... 0.95)

$\eta_{tot}$  المردود الكلي للآلة البخارية

$P_{tot}$  استطاعة اللاقط - المولدة

$\eta_{tot}$  مردود المولدة



$$p_i = \frac{A_i}{lf}$$

$p_i$  الضغط الداخلي الوسطي أو الضغط الدليلي  
الوسطي  $N/cm^2$  من المخطط أو من العلامات  
التقريبية التالية:

$$p_i = 12 \frac{N}{cm^2} + 0.2p_1$$

- لآلة التكثيف

$$p_i = 12 \frac{N}{cm^2} + 0.25p_1$$

- لآلة العادم وآلة الضغط المعاكس  $p_2 < 20 N/cm^2$

$$c_m = 2sn$$

$c_m = 2 \dots 3.5$  m/s من أجل دوار بطيء

$c_m = 3.5 \dots 5$  m/s من أجل دوار سريع

$$x_h = \frac{s}{D}$$

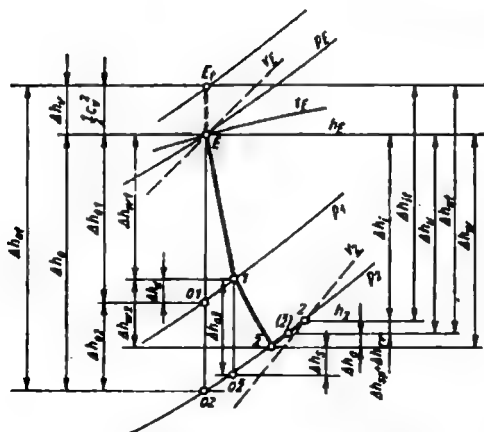
$x_h$  نسبة الشوط

$D$  قطر الاسطوانة

يمكن تحديد الأبعاد الرئيسية عن طريق العلاقات المبينة أعلاه للاستطاعة الداخلية  $P_i$

وفرض  $c_m, x_h, p_i$

#### 4. العنفات البخارية



الشكل 370 سير الحالة في المخطط  $h-s$  في مرحلة عنفة محورية مع رد فعل منخفض

$\Delta h_0 = h_{ESix} - h_{O2Six}$	انخفاض الحرارة المرحلية الأيزونتروبية <sup>(1)</sup> kJ/kg
$\Delta h_{01} = h_{ESix} - h_{O1Six}$	انخفاض الدولاب القائد الأيزونتروبي <sup>(1)</sup> kJ/kg
$\Delta h_{02} = h_{O1Six} - h_{O2Six}$	انخفاض الدولاب الدوار الأيزونتروبي <sup>(1)</sup> kJ/kg
$\Delta h_i = h_E - h_2$	انخفاض الحرارة المرحلية الداخلية <sup>(1)</sup> kJ/kg
$\Delta h_{0i} = h_{Ei} - h_{02}$	انخفاض الحرارة المرحلية الكلي الأيزونتروبي kJ/kg
$\Delta h_{it} = h_{Ei} - h_2$	انخفاض الحرارة المرحلية الكلي الداخلي kJ/kg
$\Delta h_w = \Delta h_{w1} - \Delta h_{w2}$	انخفاض الحرارة المرحلية الحقيقية في القرص القائد والدوار
$\Delta h_{w1} = h_E - h_1$	انخفاض الحرارة المرحلية الحقيقية في القرص القائد kJ/kg
$\Delta h_{w2} = h_1 - h_2$	انخفاض الحرارة المرحلية الحقيقية في القرص الدوار kJ/kg
$\Delta h_u = h_E - h_{(2)}$	انخفاض الحرارة المرحلية للعمل في محيط القرص الدوار kJ/kg
$\Delta h_{ut} = h_{Ei} - h_{(2)}$	العمل الكلي في محيط قرص دوار لمرحلة واحدة kJ/kg
$\Delta h_{ut} = \Delta h_v + h_E - h_{(2)}$	
$\Delta h_v = \frac{c_v^2}{2} = h_{Ei} - h_E$	$\Delta h_v$ انخفاض الدوار الأولي kJ/kg $c_v$ سرعة الدوار الأولي m/s
	$\left[ \frac{1 \text{ kg m}^2}{\text{kg s}^2} = \frac{1 \text{ Nm}}{\text{kg}} = \frac{1 \text{ J}}{\text{kg}} \right]$
$\Delta h_d = h_1 - h_{01}$	ضباغات القرص القائد (قارن الشكل 370) kJ/kg
$\Delta h_s = h_{\bar{2}} - h_{0\bar{2}}$	ضباغات القرص الدوار (قارن الشكل 370) kJ/kg
$\Delta h_a = h_{(2)} - h_{\bar{2}}$	ضباغات الخرج (قارن الشكل 370) kJ/kg
$r = \frac{\Delta h_{02}}{\Delta h_0} = \frac{h_1 - h_{\bar{2}}}{h_E - h_{02}}$	درجة رد الفعل
$\eta' = \frac{\Delta h_{w1} + \Delta h_v}{\Delta h_{01} + \Delta h_v} = \frac{c_1^2}{c_0^2}$	مردود القرص القائد

<sup>(1)</sup> يمكن حذف الدليل Six عندما يكون من الواضح عند الحساب، في أي مرحلة تتم المعالجة.



$$\eta'' = \frac{w_2^2}{w_{20}^2}$$

مردود القرص الدوار  
 $\eta''$  و  $\eta''$  تأخذان بعين الاعتبار ضياعات القرصين الدوار  
 والقائد ويمكن استنتاجهما من المنحنيات التجريبية.

#### 1.4 الاستطاعات والمراديد

$\dot{m}_s$ تدفق البخار اللحظي kg/s	$h_E$ الانتالي قبل بداية التمدد kJ/kg
$\dot{m}_B$ معدل كمية مادة الاحتراق	$h_{0A}$ الانتالي بعد التمدد الإيزونتروبي kJ/kg
المضافة بالساعة kg/h	
$\Delta H_h$ قيمة تسخين مادة الاحتراق	$h_A$ الانتالي في قاعدة طرد الغاز kJ/kg
$\eta_K$ مردود وحدة المراحل	$h_e$ الانتالي عند مخرج مولد البخار kJ/kg
	$h_{w1}$ الانتالي عند مدخل مولد البخار kJ/kg
$m_s \Delta H_0 = \sum m_{s-Si} \Delta h_{0-Si}$	للتعويض للعنفات ذات سحب البخار
$m_s \Delta H_i = \sum m_{s-Si} \Delta h_{i-Si}$	
$P_{th} = m_s \Delta H_0 = m_s (h_E - h_{0A})$	$P_{th}$ استطاعة الآلة النظرية عند تمدد إيزونتروبي kW
$\Delta H_0 = h_E - h_{0A}$	$\Delta H_0$ انخفاض الحرارة الإجمالي الإيزونتروبي kJ/kg
$\eta_i = \frac{\Delta H_i}{\Delta H_0} = \frac{P_i}{P_{th}} = \frac{h_E - h_A}{h_E - h_{0A}}$	$\eta_i$ المردود الداخلي للعنفة
$P_i = \eta_i P_{th} = \dot{m}_s \Delta H_i$	$P_i$ استطاعة الداخلية للعنفة kW
$\Delta H_i = h_E - h_A$	$\Delta H_i$ انخفاض الحرارة الإجمالي الداخلي kJ/kg
$\eta_m = \frac{P_e}{P_i}$	$\eta_m$ المردود الميكانيكي (انظر الشكل 371)
$P_e = \eta_m P_i = \eta_m \eta_i \dot{m}_s \Delta H_0$	$P_e$ استطاعة التوصيل أو الفعالة kW
$P_e = \eta_e \dot{m}_s \Delta H_0$	$\eta_e$ المردود الفعال (انظر الشكل 371)
$P_{gen} = \eta_{gen} P_i = \eta_{gen} \eta_i \dot{m}_s \Delta H_0$	$P_{gen}$ استطاعة المولد مقاسة بالواحدة kW

$$\eta_{gen} = \frac{P_{gen}}{P_e} \quad \eta_{gen} \text{ مردود المولدة (0.96 ... 0.98)}$$

$$\eta_e = \eta_i \eta_m \quad \eta_m \text{ و } \eta_e \text{ تعتمد على الخبرة ويمكن استنتاجهما}$$

$$\eta_i = \frac{\eta_e}{\eta_m} \quad \text{من المخططات (371 و 372)}$$

$$\eta_{th} = \frac{\Delta H_O}{h_e - h_{wl}} \quad \eta_{th} \text{ المردود الحراري للدارة}$$

$$\eta_{th-i} = \frac{\Delta H_i}{h_e - h_{wl}} \quad \eta_{th-i} \text{ المردود الحراري الداخلي}$$

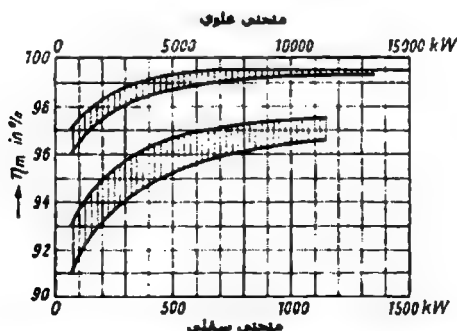
$$\dot{m}_h = \frac{P_e}{\Delta H_i \eta_m} \quad \dot{m}_h \text{ معدل تدفق البخار في الساعة kg/h}$$

$$d_{gen} = \frac{\dot{m}_h}{P_{gen}} = \frac{3600 \frac{\text{kJ}}{\text{kWh}}}{\Delta H_i \eta_m \eta_{gen}} \quad d_{gen} \text{ استهلاك البخار النوعي منسوب إلى } P_{gen} \text{ — kg/kWh}$$

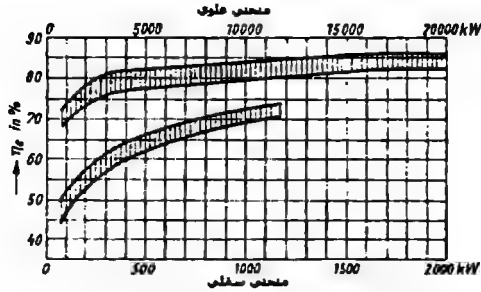
$$q_{gen} = \dot{m}_B \Delta H_h = \frac{3600 \frac{\text{kJ}}{\text{kWh}}}{\eta_{gen}} \quad q_{gen} \text{ استهلاك الحرارة النوعي للمحطة kJ/kWh}$$

$$\eta_{tot} = \frac{P_{gen}}{\dot{m}_B \Delta H_h} \quad \eta_{ges} \text{ المردود الإجمالي للمحطة}$$

$$\eta_{tot} = \eta_{th} \eta_i \eta_m \eta_K \eta_{gen} \eta_{self} \quad \eta_{self} \text{ المردود للاحتياج الخاص للمحطة}$$



الشكل 371 المراتب الميكانيكية كنابع لاستطاعة العتفة



الشكل 372 المراديد الفعالة كنابع لاستطاعة العنفة

## 2.4 استثمار الطاقة في القرص القائد والقرص الدوار

الاستنتاج الحسابي والتخطيطي للسرع والزوايا

$$h_E + \frac{c_v^2}{2} = h_{01} + \frac{c_0^2}{2} \quad \text{معادلة الطاقة للقرص القائد}$$

$$\Delta h_v = \frac{c_v^2}{2} \quad h_v \text{ انخفاض الدوار الأولي بـ } kJ/kg$$

في حالة  $c_v \leq 50 \text{ m/s}$ ، يمكن إهمال طاقة الجريان.

$$c_0 = 44.72 \sqrt{\Delta h_{01} + \Delta h_v} \quad c_0 \text{ السرعة النظرية عند تمدد}$$

$$c_1 = \sqrt{\eta' c_0^2} = \sqrt{\eta' c_0^2} \quad \text{الايزونتروبي في القرص القائد } m/s$$

$$c_1 = \sqrt{\eta' c_0^2} = \sqrt{\eta' c_0^2} \quad c_1 \text{ سرعة الخروج الفعلية للقرص}$$

$$c_1 = \sqrt{\eta' c_0^2} = \sqrt{\eta' c_0^2} \quad \text{القائد تساوي سرعة الدخول المطلقة}$$

$$c_1 = \sqrt{\eta' c_0^2} = \sqrt{\eta' c_0^2} \quad \text{للقرص الدوار } m/s$$

$$c_1 = \sqrt{\eta' c_0^2} = \sqrt{\eta' c_0^2} \quad \eta' \text{ مردود القرص القائد}$$

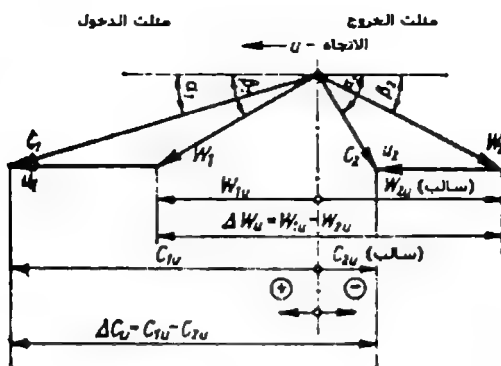
$$u_1 = \pi D_1 n \quad u_1 \text{ السرعة المحيطية في مدخل القرص الدوار}$$

$$u_2 = \pi D_2 n \quad u_2 \text{ السرعة المحيطية في مخرج القرص الدوار}$$

$$w_1^2 = c_1^2 + u_1^2 - 2 c_1 u_1 \cos \alpha_1 \quad w_1 \text{ سرعة الدخول النسبية } m/s$$

$$\sin \beta_1 = \frac{c_1}{w_1} \sin \alpha_1$$

$\beta_1$  زاوية الدخول للقرص الدوار



الشكل 373 مخطط السرعة لمراحل العنفة

$$h_1 + \frac{w_1^2}{2} + \frac{u_2^2 - u_1^2}{2} = h_{02} + \frac{w_{20}^2}{2}$$

معادلة الطاقة للقرص الدوار

$$* w_{20} = \sqrt{2000r \Delta h_0 + w_1^2 + u_2^2} \quad u_1 \text{ سرعة الخروج النسبية النظرية عند}$$

التمدد الإيزونتروبي بـ m/s

$$u_2 = u_1 = u = \pi D n$$

$u$  السرعة المحيطية عند التأثير المحوري

$$* w_{20} = \sqrt{2000r \Delta h_0 + w_1^2}$$

$w_{20}$  سرعة الخروج النسبية النظرية من

أجل  $u_1 = u_2$

$$w_2 = \sqrt{\eta'' w_{20}^2} = \sqrt{\eta''} w_{20}$$

$w_2$  سرعة الخروج النسبية

$$c_2^2 = w_2^2 + u_2^2 - 2u_2 w_2 \cos \beta_2$$

$c_2$  سرعة الخروج المطلقة

$$\sin \alpha_2 = \frac{w_2}{c_2} \sin \beta_2$$

$\alpha_2$  زاوية الخروج المطلقة

### 3.4 حساب مقاطع التدفق

$$\frac{m_s v_1}{c_1} = A_1 z_d$$

معادلة الاستمرار لمقطع القرص القائد

$$\frac{m_s v_1}{c_1} = k \epsilon \pi D_1 l_1 \sin \alpha_1$$

$$\frac{m_s v_2}{w_2} = A_2 z_s$$

$$\frac{m_s v_2}{w_2} = k \epsilon \pi D_2 l_2 \sin \beta_2$$

معادلة الاستمرار لمقاطع القرص الدوار

$$\epsilon = \frac{\text{محيط التأثير}}{\text{المحيط الكلي}}$$

k عامل التصحيح

ε درجة التأثير

A<sub>1</sub> المقطع عند مخرج القرص القائد

z<sub>s</sub> عدد الأقراص القائدة

v<sub>1</sub> الحجم النوعي للبخار عند مخرج

القرص القائد

l<sub>1</sub> طول القرص القائد

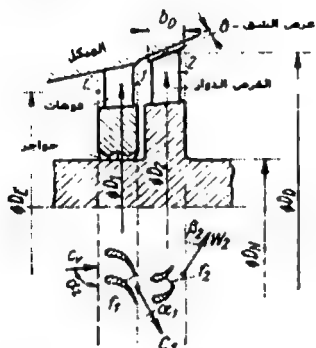
A<sub>2</sub> المقطع عند مخرج القرص الدوار

z<sub>s</sub> عدد الأقراص الدوارة

v<sub>2</sub> الحجم النوعي للبخار عند مخرج

القرص الدوار

l<sub>2</sub> طول القرص الدوار عند المخرج



الشكل 374 مراحل عتقة (ليست محورية تماماً)

#### 4.4 العمل في محيط القرص Δh<sub>ut</sub> والمردود في المحيط η<sub>u</sub>

العمل في محيط القرص الوسطي للقرص الدوار مقاس بالوحدة

(المعادلة الأساسية للعتقة) kJ/kg

$$\Delta h_{ut} = \frac{1}{2} (c_1^2 - c_2^2 + w_2^2 - w_1^2 + u_1^2 - u_2^2)$$

$$\Delta h_{ut} = u_1 c_{1u} - u_2 c_{2u} = u_1 w_{1u} - u_2 w_{2u}$$

$$\Delta h_{ut} = h_{E1} - h_{(2)}$$

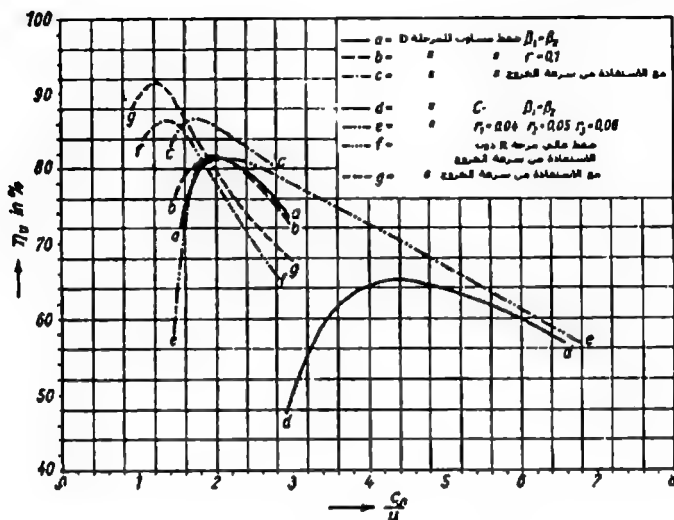
قارن الشكل (370)

$$\Delta h_{ut} = u(c_{1u} - c_{2u})$$

يطبق فقط لمرحلة محورية صافية مع u<sub>1</sub> = u<sub>2</sub> = u

$$\Delta u_t = u \Delta c_u = u \Delta w_u$$

استنتاجها بشكل غير مباشر من مخطط السرعات  
(قارن الشكل 373)



الشكل 375 مردود المحيط للمقرص عند درجات ردود أفعال مختلفة  
كتابع لقيمة عكسية لعامل الدوران  $c_u/u$

$$\eta_u = \frac{\Delta h_{ut}}{\Delta h_0 + \frac{c_v^2 - c_2^2}{2}}$$

$\eta_u$  للمردود في المحيط دون ضياعات الخروج. من أجل المراحل التي تستخدم عندها طاقة الخروج  $c_2^2/2$  كطاقة دخول في المراحل القادمة

$$\bar{\eta}_u = \frac{\Delta h_{ut}}{\Delta h_0 + \frac{c_v^2}{2}} = \frac{\Delta h_{ut}}{\Delta h_{ot}}$$

$\bar{\eta}_u$  المردود في المحيط مع ضياعات الخروج، للمراحل عندما لا يمكن استخدام طاقة الخروج في المراحل التالية.

## 5.4 عرض الضياعات لمرحلة في عنفة والمردود الداخلي المرحلي $\eta_i$

$$\Delta h_d = (1 - \eta') \frac{c_o^2}{2} = h_1 - h_{o1} \quad \text{الضياع في الفوهة kJ/kg}$$

$$\Delta h_s = (1 - \eta'') \frac{w_{2o}^2}{2} = h_2 - h_{o2} \quad \text{ضياعات القرص الدوار kJ/kg}$$

$$\Delta h_a = \frac{c_2^2}{2} = h(\bar{2}) - h_2 \quad \text{ضياعات الخروج kJ/kg}$$

$$\Delta h_{rv} = \frac{P_{rv}}{\dot{m}_s} \quad \text{ضياعات احتكاك القرص، وضياعات المروحة kJ/kg.} \quad P_{rv} \rightarrow \text{kW (راجع المراجع الاختصاصية)}$$

$$\Delta h_{sp} = \Delta h_{sp}' + \Delta h_{sp}'' \quad \text{ضياعات القناة لمرحلة}$$

$$\Delta h_{sp} = \xi_{sp} \Delta h_o = (\xi_{sp}' + \xi_{sp}'') \Delta h_o$$

$$\Delta h_{sp}' = \xi_{sp}' \Delta h_o \quad \text{ضياعات القناة للقرص القائد}$$

$$\Delta h_{sp}'' = \xi_{sp}'' \Delta h_o \quad \text{ضياعات القناة للقرص الدوار}$$

$$\Delta h_{ut} = \Delta h_{ot} - (\Delta h_d + \Delta h_s + \Delta h_a) \quad \text{عمل المحيط لمرحلة في عنفة}$$

$$\Delta h_{it} = \Delta h_{ut} - (\Delta h_{sp} + \Delta h_{rv}) \quad \text{العمل الداخلي لمرحلة في عنفة}$$

$$\eta_i = \frac{\Delta h_{it}}{\Delta h_o + \frac{c_v^2 - c_2^2}{2}} \quad \text{المردود الداخلي لمرحلة عنفة عند الاستهلاك التام لطاقة الخروج}$$

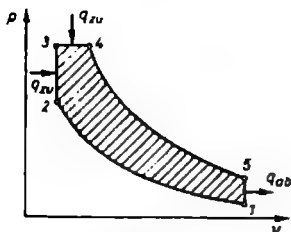
$$\bar{\eta}_i = \frac{\Delta h_{it}}{\Delta h_o + \frac{c_v^2}{2}} \quad \text{المردود الداخلي لمرحلة عنفة مع ضياعات طاقة الخروج}$$

## 5. آلات قوى الاحتراق

### 1.5 الدارات المثالية لآلات قوى الاحتراق:

$$\eta_{th} = 1 - \frac{q_{loss}}{q_{supp}} \quad \eta_{th} \text{ المردود الحراري للدارة المثالية}$$

دارة محركات Otto، انظر (علم الحرارة الهندسي)



الشكل 376

دائرة محركات الديزل، انظر (علم الحرارة الهندسي)

تتكون دائرة Seiliger (الشكل 376)

من تغيرات الحالة التالية:

1 - 2: تكثيف ايزونتروبي

2 - 3: اكتساب الحرارة تحت حجم ثابت

3 - 4: اكتساب الحرارة تحت ضغط ثابت

4 - 5: تحدد ايزونتروبي

5 - 1: طرد الحرارة تحت حجم ثابت

$\eta_{th}$  المردود الحراري لدائرة Seiliger

$$\eta_{th} = 1 - \frac{1}{\epsilon^{\chi-1}} \frac{\psi p^{\chi} - 1}{\psi - 1 + \chi \psi (p - 1)}$$

$$\epsilon = \frac{V_1}{V_2}$$

$$\psi = \frac{p_3}{p_2}$$

$$p = \frac{V_4}{V_1}$$

$$p_{th} = \frac{\epsilon}{\epsilon - 1} \frac{q_{supp} \eta_{th}}{v_1}$$

$$p_{th} = \frac{p_1}{\chi - 1} \frac{\epsilon^{\chi}}{\epsilon - 1} [\psi - 1 + \chi \psi (p - 1)] \eta_{th}$$

$\epsilon$  نسبة التكايف

$\psi$  نسبة ازدياد الضغط في دائرة Diesel  $\psi = 1$

$p$  نسبة الضغط الكلي، في دائرة Otto  $p = 0$

$P_{th}$  الضغط الوسطي  $kP_a$  محرك يعمل

حسب الدائرة المثالية

$q_{supp}$  الحرارة المكتسبة  $kJ/kg$

$v_1$  الحجم النوعي  $m^3/kg$

## 2.5 دوائر المحركات الكاملة (التامة)

$\dot{m}_B$  معدل استهلاك المادة اللازمة  $w_v$  عمل المحركات بوحدة  $kJ$  لوحدة

مادة احتراق

$kg/s$



$\Delta_{HH}$	قيمة تسخين مادة الاحتراق	$T$	عدد الأشواط لكل دورة عمل
بوحدة kJ	لوحدة مادة	$T=4$	لمحركات رباعية الشوط
الاحتراق		$T=2$	لمحركات ثنائية الشوط
$q_{supp}$	الحرارة المكتسبة بـ kJ لكل $m_L$		كمية الهواء المحترقة بـ kg لكل وحدة من مادة الاحتراق
kg	شحنة جاهزة		
$q_{ab}$	الحرارة المسحوبة بـ kJ لكل $m_{L-min}$		احتياج الهواء النظري kg لكل وحدة من مادة الاحتراق
kg	شحنة جاهزة		
$D$	قطر المكبس m	$V_H$	حجم الشوط للمحرك $m^3$
$s$	طول الشوط m	$V_h$	حجم الشوط للاسطوانة $m^3$
$n$	عدد الدورات $\frac{1}{s}$		
$z$	عدد الاسطوانات		
$\eta_v$	مردود المحرك الكامل، يتعلق بدارة المقارنة		
	الموضوعة إما (Diesel, Otto)، أو (Seiliger)		
$\eta_v = 1 - \frac{q_{ab}}{q_{supp}}$			
$\eta_v = \frac{w_v}{\Delta_{HH}h} = \frac{P_v}{m_B \Delta_{HH}h}$			
$q_{supp} = \frac{\Delta_{HH}h}{m_G}$	$q_{supp}$ الحرارة المكتسبة kJ/kg، شحنة جاهزة		
$m_G = \lambda_v m_{L-min} + k$	$m_G$ كمية الشحن الجاهزة kg لكل وحدة من مادة الاحتراق		
$\lambda_v = \frac{m_L}{m_{L-min}}$	$\lambda_v$ عامل نسبة الهواء		
$k = 0$	من أجل محركات Diesel و Otto مع حقن مادة احتراق		
$k = 1 \text{ kg/kg}$	لمحركات Otto		
$k = \rho_k$	للمحركات الغازية، $\rho_k$ كثافة غاز التشغيل $kg/m^3$ في الشروط النظامية ( $0^\circ C; 101.3 \text{ kPa}$ )		
$P_v = \frac{\epsilon}{\epsilon - 1} \rho_1 q_{supp} \eta_v$	$P_v$ الضغط الوسطي للمحرك الكامل kPa		
	$\rho_1$ كثافة تعبئة الاسطوانة $kg/m^3$ عند بداية الانضغاط		

$P_v$  استطاعة المحرك الكامل kW

$$\mathbf{V}_H = z \mathbf{V}_h$$

$$V_H = z \frac{\pi}{4} D^2 s$$

$$c_m = 2sn$$

$$\epsilon = \frac{V_h + V_c}{V_c}$$

$$x_h = \frac{s}{D}$$

$V_h$  حجم الشوط للاسطوانة  $m^3$

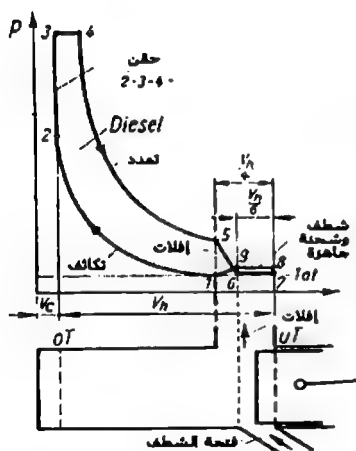
$V_H$  حجم الشوط للمحرك  $m^3$

$c_m$  سرعة المكبس الوسطية m/s

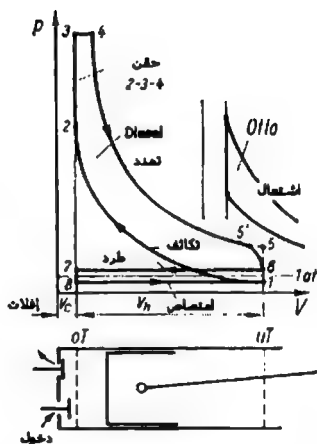
نسبة التكاثر  $\epsilon$

$V_c$  حجرة تكثيف الاسطوانة

$x_h$  نسبة الشوط



الشكل 378 طريقة عمل  
محركات ثنائية الشوط



الشكل 377 طريقة عمل  
محركات رباعية الشوط

$$\eta_i = \frac{P_i}{\dot{m}_B \Delta H_h} = \eta_g \eta_v$$

$\eta_i$  المردود الداخلي أو المردود الدليلي

$$\eta_g = \frac{P_i}{P_v} = \frac{P_i}{P_v} = \frac{\eta_i}{\eta_v}$$

$\eta_g$  مردود الجودة

$$P_i = \frac{2V_H n}{T} P_t = \frac{\pi D^2 n z}{2T} P_t$$

$P_i$  الضغط الداخلي الوسطي kPa

$P_i$  الاستطاعة الداخلية kW

$$\eta_m = \frac{P_e}{P_i} = \frac{P_e}{P_e + P_f}$$

$\eta_m$  المردود الميكانيكي

$P_f$  استطاعة الاحتكاك واستطاعات التجهيزات

المساعدة (الشاحن، النافخ الطرد)

$$P_e = \frac{2V_H n}{T} P_e = \frac{\pi D^2 n z}{2T} P_e$$

$P_e$  الاستطاعة المفيدة kW

$$M_d = \frac{V_H}{\pi T} P_e$$

$M_d$  عزم الدوران المفيد kNm

$$P_e = P_i \eta_m$$

$P_i$  الضغط الداخلي الموسط kPa

$$P_e = \frac{\Delta H_h}{\lambda_v m_{L-min} + k} \lambda_i \rho_F \eta_e$$

$P_e$  الضغط المفيد الموسط kPa

$$\lambda_i = \frac{m_z}{\rho_F V_h}$$

$\lambda_i$  درجة التوزيع

$$\frac{P_e}{\lambda_i \eta_e} = \frac{P_i}{\lambda_i \eta_i} = \frac{P_v (\epsilon - 1)}{\eta_v \epsilon}$$

$m_z$  كمية الشحنة الجاهزة للاسطوانة

$\rho_F$  كثافة الشحنة الجاهزة قبل فتحات الدخول

$$\eta_e = \frac{P_e}{\dot{m}_B \Delta H_h} = \frac{1}{b_e \Delta H_h}$$

$\eta_e$  المردود المفيد

$$\eta_e = \eta_v \eta_g \eta_m$$

$b_e$  الاستهلاك النوعي للمادة kg/kWh

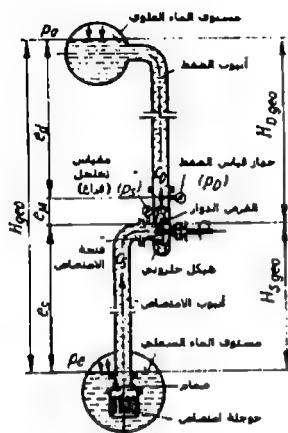
$$b_e = \frac{\dot{m}_B}{P_e} = \frac{3600 \frac{kJ}{kWh}}{\Delta H_h \eta_e}$$

## 6. المضخات المكبسية والمضخات الدوارة

(العلاقات المشتركة)

$H$	ارتفاع النقل $m$	$P_s$	الضغط في قعر الامتصاص للمضخة
$H_{geo}$	ارتفاع النقل الجغرافي (فرق الارتفاع بين مستوي السائل العلوي والسفلي)	$P_a$	الضغط في مستوى السائل (العلوي)
$H_{Sgeo}$	ارتفاع الضغط الجغرافي $m$	$P_e$	سرعة التدفق في موقع قياس الضغط $m/s$
$H_{Dgeo}$	مقاومات الأنابيب $m$	$C_D$	سرعة التدفق في موقع قياس الامتصاص $m/s$
$H_v$	مقاومات الأنابيب $m$	$C_s$	سرعة التدفق في موقع قياس الامتصاص $m/s$
$H_{v_s}$	مقاومة أنابيب الامتصاص $m$	$g$	التسارع الأرضي $m/s^2$
$H_{vD}$	مقاومة أنابيب الضغط $m$	$\rho$	كثافة السائل $kg/m^3$
$H_{v_i}$	الضياعات الداخلية للمضخة $m$	$\dot{V}$	التدفق $m^3/s$
$H_{th}$	ارتفاع النقل النظري $m$	$n$	عدد الدورات $1/s$
$H_{man}$	ارتفاع النقل المانومتري $m$	$H_A$	ارتفاع عمود سائل $m$ أثناء قياس ضغط الهواء الجوي
$e_M$	فرق الارتفاع بين موقع قياس الضغط والامتصاص $m$	$H_t$	ارتفاع عمود سائل $m$ أثناء قياس ضغط الإشباع لبخار السائل
$P_D$	الضغط في قعر مضخة الضغط (موقع قياس الضغط $Pa$ )	$H$	ارتفاع النقل $m$

ارتفاع النقل الجغرافي  $H_{geo}$   
 (فرق الارتفاع بين  
 مستوى السائل العلوي  
 والسفلي)

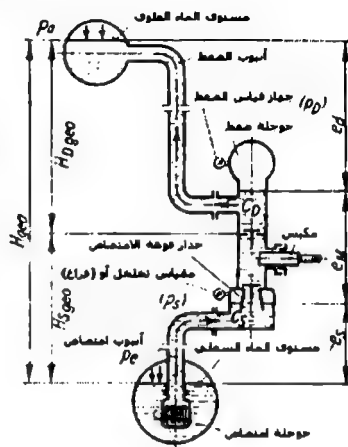


الشكل 380

$$H = \frac{(p_D - p_S)}{\rho g} + c_M + \frac{C_D^2 - C_S^2}{2g}$$

$$H = \frac{(p_D - p_S)}{\rho g} + H_{geo} + H_v$$

$$H = H_{geo} + H_v$$



الشكل 379

$$H_v = H_{vS} + H_{vD}$$

$$H = \frac{(p_D - p_S)}{\rho g} + c_M$$

$$H_{man} = \frac{H_p}{1000 \frac{kg}{m^3}}$$

$$\Delta p = H_{man} 1000 \frac{kg}{m^3} \quad g = H \rho g$$

$$H_{th} = \frac{H}{\eta_h} = H + H_{vi}$$

$$\eta_H = \frac{H}{H_{th}}$$

$H_v$  مقاومة الأنبوب  $m$

يطبق في المضخات المكبسية في مرحلة  
 الانضغاط والامتصاص

$H_{man}$  الارتفاع المانومتري بوحدة  $m$ ، ارتفاع عند

نقل الماء،  $4^\circ C$ ،  $\rho_{4^\circ C} = 1000 \frac{kg}{m^3}$

$\Delta p$  ضغط النقل  $Pa$

$H_{th}$  الارتفاع النظري  $m$

$\eta_h$  المردود الهيدروليكي

## 1.6 المضخات المكبسية

$$P = \dot{V} H \rho g$$

الاستطاعة المفيدة kW P

$$P_i = \frac{P}{\eta_i} = \frac{P}{\lambda \eta_h}$$

المردود الداخلي  $\eta_i$

$\dot{V}_{th}$  تدفق الارتفاع المطلوب  $m^3/s$ ، من

قياسات المضخة المكبسية عديمة الضياعات

$\dot{V}_v$  ضياعات النقل  $m^3/s$  خلال المرشحات

$$\eta_i = \frac{P}{P_i} = \lambda \eta_h$$

$$\eta = \frac{\dot{V}}{\dot{V}_{th}} = \lambda \lambda_f$$

$\eta_v$  المردود الحجمي (0.98 ... 0.88)

$$\lambda_f = \frac{\dot{V} + \dot{V}_v}{\dot{V}_{th}}$$

$\lambda_f$  مردود التعبئة

$$\lambda = \frac{\dot{V}}{\dot{V} + \dot{V}_v}$$

$\lambda$  درجة التوزيع

$$P_i' = A p_i s n$$

$P_i'$  الاستطاعة الدليلية لجانب الاسطوانة kW

$p_i$  الضغط الداخلي المتوسط بوحدة Pa، من

مخطط الدليلي

$$P_i = \sum P_i' = s n \sum A p_i$$

$P_i$  الاستطاعة الدليلية للمضخة المكبسية kW

A مساحة المكبس لطرف الاسطوانة  $m^2$

s طول الشوط m

$$P_K = \frac{P_i}{\eta_{mec}} = \frac{P}{\eta_i \eta_{mec}} = \frac{P}{\eta_{tot}}$$

$P_K$  استطاعة التوصيل kW

$\eta_{mech}$  المردود الميكانيكي

$$\eta_{tot} = \frac{P}{P_K} = \eta_i \eta_{mec} = \lambda \eta_h \eta_{mec}$$

$\eta_{tot}$  المردود الكلي (0.85 ... 0.7)

$$c_m = 2 s n$$

$c_m$  سرعة المكبس الوسطية m/s ( $c_m = 1.5 \dots 2$  m/s)

$$x_h = \frac{s}{D}$$

$x_h$  نسبة الشوط ( $p \leq 4$  MPa من أجل 1.2 حتى 0.6  $x_h$ )

$$\dot{V} = \eta_v \dot{V}_{th} = \eta_v s n \sum A \quad \text{العلاقات لتحديد القياسات الأساسية حسب}$$

$$\dot{V} = \eta_v \frac{c_m}{2} \sum A \quad \text{الفرض لـ } x_h \text{ و } c_m$$

ارتفاع الامتصاص الأعظمي الممكن في المضخات المكبسية ( $H_{s \text{ geo max}}$ )

$$H_{s \text{ geo max}} = H_A - H_t - h_{s \text{ max}} - h_{svo} \quad \text{مضخات بدون وعاء امتصاص}$$

$$H_{s \text{ geo max}} = H_A - H_t - H_{vs} - h_{svo} \quad \text{مضخات مع وعاء امتصاص}$$

$$H_{s \text{ geo}} < H_{s \text{ geo max}} \quad \text{ارتفاع الامتصاص الحقيقي (للماء البارد 6 ... 7 m)}$$

$$H_A = \frac{p_A}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} g} \quad \begin{array}{l} h_{s \text{ max}} \text{ ارتفاع التسارع الأعظمي } m \\ h_{svo} \text{ مقاومة فتحة صمام الامتصاص } m \end{array}$$

$$H_t = \frac{p_t}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} g} \quad \begin{array}{l} p_A \text{ ضغط الهواء الجوي } N/m^2 \\ p_t \text{ ضغط إشباع بخار السائل بوحدة Pa} \end{array}$$

## 2.6 المضخات الدوارة - المكثفات الدوارة

(انظر أيضاً المضخات المكبسية والمضخات الدوارة) الأدلة:

0 لحظة قبل بداية دوران القرص  $H_{tho}$  ارتفاع النقل لعدد شفرات غير

1 لحظة بعد بداية دوران القرص  $m$  منته وتدفق بدون احتكاك بوحدة

2 قليل قبل نهاية دوران القرص  $u$  السرعة المحيطية  $m/s$

3 قليل بعد نهاية دوران القرص  $c$  السرعة المطلقة للتدفق  $m/s$

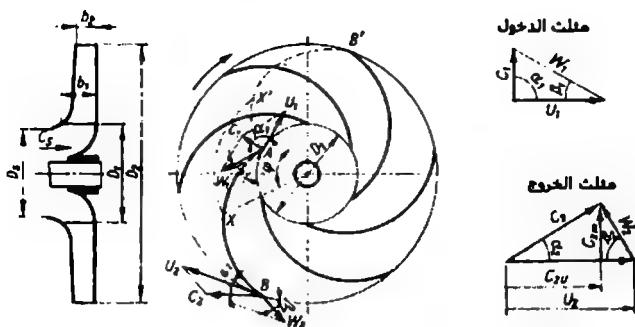
الزوايا:  $w$  السرعة النسبية للتدفق  $m/s$

$\alpha$  الزاوية بين  $c$  و  $u$

$\beta$  الزاوية بين  $w$  والاتجاه السالب لـ  $u$

$$H_{tho} = \frac{u_2 c_2 \cos \alpha_2 - u_1 c_0 \cos \alpha_0}{g} \quad \begin{array}{l} h_{tho} \text{ ارتفاع النقل لعدد شفرات غير منته} \\ \text{وجريان بدون احتكاك} \end{array}$$

$$H_{tho} = \frac{u_2 c_{2u} - u_1 c_{0u}}{g} \quad \begin{array}{l} \text{المعادلة الرئيسية Euler (عند عدد غير منته من الشفرات } c_0 = c_1 \text{ وأيضاً } \alpha_0 = \alpha_1) \end{array}$$



الشكل 381

$$H_{th\infty} = \frac{u_2 c_2 \cos \alpha_2}{g} = \frac{u_2 c_{2u}}{g} \quad \text{عند } \alpha_0 = 90^\circ \text{ (الدخول عمودي)}$$

$H_{th} = k H_{th\infty}$   $H_{th}$  الارتفاع النظري المطلوب عند عدد غير منته من الشفرات

$$k = \frac{H_{th}}{H_{th\infty}} \quad (k \approx 0.70 \dots 0.85)$$

$k$  عامل الاستطاعة الأصغري، ويمكن تحديده حسب صيغ التقريب لـ Plfeider

$$H = \eta_{th} H_{th} = \eta_h k H_{th\infty}$$

$H$  الارتفاع الحقيقي المطلوب  $m$

$$r_\infty = 1 - \frac{c_{2u}}{2u_2}$$

درجة رد الفعل لعدد نهائي من الشفرات

$$r = 1 - \frac{k c_{2u}}{2u_2}$$

درجة رد الفعل لعدد منته من الشفرات

$$\psi = \frac{2gH}{u_2^2}$$

عامل الضغط ( $\psi = 0.9 \dots 1.1$ )، أقصر اص قطرية

### 3.6 الاستطاعات والمراديد في المضخات الدورانية

$$P = \dot{V} H \rho g$$

$P$  الاستطاعة المفيدة  $kW$



$$\begin{aligned}
P_i &= \frac{P}{\lambda \eta_h} + P_{vr} & P_i &\text{الاستطاعة الداخلية kW} \\
& & P_{vr} &\text{ضياعات احتكاك الدولاب kW} \\
& & P_K &\text{استطاعة جهاز الوصل kW} \\
*P_{vr} &= 0.9 \times 10^{-6} \mu_2^3 D_2^2 & \lambda &\text{درجة التوزيع } (\lambda = 0.88 \dots 0.98) \\
& & \eta_h &\text{المردود الهيدروليكي } (\eta_h = 0.7 \dots 0.95) \\
\eta_i &= \frac{P}{P_i} & \eta_i &\text{المردود الداخلي} \\
P_K &= \frac{P_i}{\eta_{mec}} & \eta_{mec} &\text{المردود الميكانيكي } (\eta_{mec} = 0.85 \dots 0.98) \\
\eta_{tot} &= \frac{P}{P_K} & \eta_{tot} &\text{المردود الكلي } (\eta_{tot} = 0.4 \dots 0.9)
\end{aligned}$$

#### 4.6 سلوك المضخات الدورانية والمكثفات الدورانية

سلوك المضخات الدورانية والمكثفات الدورانية عند عدد دورات متغير

عند تغير عدد الدورات من  $n$  إلى  $n_1$  يتغير تدفق النقل  $\dot{V}$  وارتفاع النقل  $H$  والاستطاعة  $P$  حسب العلاقات التالية:

$$\begin{aligned}
\dot{V}_1 &= \dot{V} \frac{n_1}{n} & \text{تدفق النقل} \\
H_1 &= H \frac{n_1^2}{n^2} & \text{ارتفاع النقل} \\
P_1 &= P \frac{n_1^3}{n^3} & \text{الاستطاعة}
\end{aligned}$$

السلوك عند عدد دورات متساوي وانعكاس دوران الدولاب من  $D_2$  إلى  $D_2'$

عندما يتم تدوير الدولاب الدوار من  $D_2$  إلى  $D_2'$  يتغير تدفق النقل  $\dot{V}$  ، وارتفاع النقل  $H$  والاستطاعة  $P$  حسب العلاقات التالية:

$$\dot{V}_1 = \dot{V} \frac{D_2'}{D_2} \quad \text{تدفق النقل}$$

$$H_1 = H \frac{D_2'^2}{D_2^2}$$

ارتفاع النقل

$$P_1 = P \frac{D_2^3}{D_2'^3}$$

الاستطاعة

عدد الدورات النوعي  $n_q$

$$* n_q = n \frac{\sqrt{V}}{H^{3/4}}$$

$n_q$	$n$	$\dot{V}$	$H$
U/min	U/min	m <sup>3</sup> /s	m

أشكال الدولاب الدوار



$n_q = 11 \dots 39$

دوران بطيء (دولاب محوري)



$n_q = 38 \dots 82$

دوران متوسط (دولاب عنفة Francis)



$n_q = 82 \dots 164$

دوران سريع (دولاب قطري)



$n_q = 100 \dots 500$

دوران أسرع ما يمكن (دولاب على شكل

الشكل 382

قطعي)

ارتفاع الامتصاص المسموح به في المضخات الدورانية  $H_{S \text{ geo max}}$

$$H_{S \text{ geo max}} = H_A - H_1 - H_{VS} - \frac{c_0^2}{2g} - \Delta h$$

$$* \Delta h = \left[ \left( \frac{n}{100} \right)^2 \frac{\dot{V}}{k_n S} \right]^{2/3}$$

$\Delta h$	$n$	$\dot{V}$	$k_n S$
m	U/min	m <sup>3</sup> /s	-

$$k_n = 1 - (d_n/D_S)^2$$

$\Delta h$  انخفاض الضغط (ضغط التوقف) m

$S \approx 2.47$  للدولاب القطعي

$c_0$  السرعة المطلقة قبل الدولاب m/s

$S \approx 2.35$  عنفة ذات تدوير بسيط

$k_n$  عامل تضيق مقطع الدخول

$S \approx 2.9$  دولاب محوري (مضاعف التدوير)

$S$  عامل الامتصاص

## 5.6 أجهزة سحب الهواء

(خصوصيات مقارنة مع المضخات الدورانية)

$$\Delta p_{\text{tot}} = (p_D - p_S) + \frac{c_D^2 - c_S^2}{2} \rho$$

$\Delta p_{\text{tot}}$  ضغط النقل بوحدة Pa

$$p_{\text{stat}} = p_D - p_S$$

$\Delta p_{\text{stat}}$  الضغط الستاتيكي Pa

$$p_{\text{dyn}} = \frac{c_D^2 - c_S^2}{2} \rho$$

$\Delta p_{\text{dyn}}$  الضغط الديناميكي Pa

$$P = \dot{V} \Delta p_{\text{tot}}$$

P الاستطاعة المفيدة kW

$$z \approx 8.5 \frac{\sin \beta_2}{1 - (r_1 / r_2)}$$

عدد الشفرات

## 6.6 المكثفات الدورانية

(خصوصيات مقارنة مع المضخات الدورانية)

$$W_t = \frac{\chi}{\chi - 1} p_s v_s \left[ \left( \frac{p_D}{p_S} \right)^{\frac{\chi - 1}{\chi}} - 1 \right]$$

$w_t$  العمل النوعي للمكثف عند

تكثيف ايزونثروبي J/kg

$$W_t = \frac{\chi}{\chi - 1} R T_S \left[ \left( \frac{p_D}{p_S} \right)^{\frac{\chi - 1}{\chi}} - 1 \right]$$

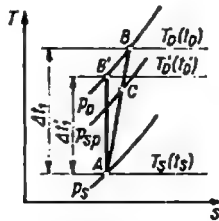
$c_p$  السعة الحرارية النوعية عند ضغط

ثابت J/(kg K)

$$W_t = c_p T_S \left[ \left( \frac{p_D}{p_S} \right)^{\frac{\chi - 1}{\chi}} - 1 \right]$$

R ثابت الغازات العام J/(kg K)

$v_s$  الحجم النوعي بحالة الامتصاص  $m^3/kg$



الشكل 383

العلاقة بين ارتفاع النقل H بوحدة m والعمل النوعي  $w_t$

$$H = \frac{w_t}{g}$$

$w_{t-i}$  العمل النوعي الداخلي J/kg

$$w_{t-i} = c_p(T_D - T_S) = h_D - h_S$$

$\eta_i$  المردود الداخلي

$$\eta_i = \frac{w_t}{w_{t-i}} = \frac{T_D' - T_S}{T_D - T_S} = \frac{\Delta t_1'}{\Delta t_1}$$

$h_D$  الانتالي للنقطة B — J/kg

$h_A$  الانتالي للنقطة A — J/kg

$w_{t-L}$  العمل النوعي للدولاب الدوار J/kg

$$w_{t-L} = r w_t$$

$p_{pp}$  الضغط في القناة بين الدولاب الدوار والجهاز القائد N/m<sup>2</sup>

P الاستطاعة المفيدة عند التكاثف الايزونثروبي kW

$$P = \dot{m} w_t$$

$P_i$  الاستطاعة الداخلية kW

$$P_i = \frac{P}{\eta_i} = \dot{m} w_{t-i}$$

$P_K$  استطاعة التوصيل kW

$$P_K = \frac{P_i}{\eta_{mech}}$$

$\eta_{mech}$  المردود الميكانيكي

$\eta_{tot}$  المردود الكلي

$$\eta_{ges} = \frac{P}{P_K}$$

$\dot{m}$  الكمية المطلوبة (النقولة) kg/s

$$\dot{m} = \frac{p_s \dot{V}}{RT_s}$$

## 7. الكثافات المكسية

$\dot{V}$  تدفق النقل (التدفق الحجمي) m<sup>3</sup>/s

$V_H$  حجم الشوط لاسطوانة m<sup>3</sup>

$V_0$  الفراغ المتضرر للاسطوانة m<sup>3</sup>

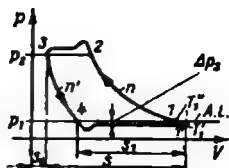
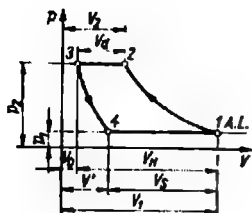
z عدد الاسطوانات

s شوط الاسطوانة m

n عدد الدورات U/s

$c_m$  سرعة المكبس الوسطية m/s

$T_s$  درجة الحرارة في داعمات الامتصاص K



الشكل 384 المخطط التالي لمكثف ذي فراغ متضرر

$$V_0 = s_0 A$$

A مساحة المكبس الفعالة لجانب الاسطوانة  $m^3$

$$V_H = s A$$

$V_H$  حجم الشوط للأسطوانة  $m^3$

$$\varepsilon_0 = \frac{V_0}{V_H} = \frac{s_0}{s}$$

$\varepsilon_0$  نسبة الفراغ المتضرر (0.03 ... 0.15)

$$\varepsilon = \frac{s_0 + s}{s_0} = \frac{V_0 + V_H}{V_0}$$

$\varepsilon$  نسبة التكثيف

$$\varepsilon_0 = \frac{1}{\varepsilon - 1} \quad \varepsilon = \frac{\varepsilon_0 + 1}{\varepsilon_0}$$

العلاقة بين  $\varepsilon$  و  $\varepsilon_0$

$$\lambda_0 = 1 - \varepsilon_0 \left[ \left( \frac{p_D}{p_S} \right)^{\frac{1}{n''}} - 1 \right] = \frac{s_1}{s}$$

$\lambda_0$  عامل التمدد العكسي

$$\lambda = \frac{\Delta p_S}{p_S}$$

عامل ضياع الضغط عند الامتصاص، وغالباً:

$$(\lambda = 1, \Delta p_S = 0.02 \dots 0.03 p_S)$$

$$\lambda_1 = \frac{\dot{V}}{\dot{V}_1}$$

$\lambda_1$  درجة الكثافة (درجة التوزيع) نسبة كمية التوزيع

لكمية الامتصاص ( $\lambda_1 = 0.97$  حتى 1)

$$\lambda_2 = \frac{T_S}{T_1''}$$

$\lambda_2$  درجة التسخين

$T_S$  درجة الحرارة في حالة الامتصاص

$T_1''$  درجة الحرارة في النقطة 1 (انظر الشكل 385)

$$\lambda_r = \lambda_0 \lambda_1 \lambda_2$$

$\lambda_r$  درجة التعبئة

n' أس البروليتروبي لتمدد الإرجاع

$$\lambda_f = \left\{ 1 - \varepsilon_0 \left[ \left( \frac{p_D}{p_S} \right)^{\frac{1}{n'}} - 1 \right] \right\} \frac{T_S}{T_1''}$$

$$\eta_v = \lambda_1 \lambda_1' = \lambda_0 \lambda_1' \lambda_1 \lambda_2$$

$\eta_v$  المردود الحجمي (0.7 ... 0.9)

## 1.7 الأبعاد، الاستطاعات والمراديد

$$\dot{V} = \eta_v z V_H$$

$$\dot{V} = \eta_v s n \sum A$$

$$\dot{V} = \eta_v \frac{c_m}{2} \sum A$$

$$x_H = \frac{s}{D}$$

$$c_m = 2sn$$

$$P_{is} = 2.3 p_S \dot{V} \lg \frac{p_D}{p_S}$$

$$P_{pol} = \frac{n}{n-1} p_S \dot{V} \left[ \left( \frac{p_D}{p_S} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right]$$

$$P_i = sn \sum p_i A$$

$$p_i = \frac{P_{ith}}{\eta_h}$$

$$P_{ith} = \frac{n}{n-1} p_S \lambda_0 \left[ \left( \frac{p_D}{p_S} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right]$$

$\dot{V}$  الحجم المنقول  $m^3/s$  في حالة الامتصاص  
للمرحلة الأولى. في حالة تكييف ذي مراحل  
متعددة تعتبر  $\dot{V}$  على حالة البداية لكل مرحلة.

$V_H$  حجم الشوط بـ  $m^3$  للأسطوانة التابعة  
لكل مرحلة الضغط

$D$  قطر الاسطوانة

$x_H$  نسبة الشوط

$c_m$  سرعة المكبس الوسطية  $m/s$  ( $c_m = 1.4 \dots 4$ )

$P_{is}$  الاستطاعة النظرية عند تكييف ايزونثروبي

$P_{pol}$  الاستطاعة النظرية  $kW$  عند تكييف  
بوليثروبي. أما عند تكييف ايزونثروبي فتعوض  
 $n \rightarrow x$

$P_i$  الاستطاعة الداخلية (الاستطاعة الدليية)  $kW$

$\eta_h$  درجة الاكتمال أو المردود الهيدروليكي

( $\eta_h = 0.94 \dots 0.98$ )

$n$  أس البوليثروبي للتكاثف والتمدد  
الإرجاعي

$$\eta_{is-i} = \frac{P_{is}}{P_i}$$

$\eta_{is-i}$  المردود الدليلي بثبوت درجة الحرارة

$$P_K = \frac{P_i}{\eta_{mech}}$$

$\eta_{mech}$  المردود الميكانيكي ( $\eta_{mech} = 0.88 \dots 0.95$ )

$$x = i \sqrt{\frac{P_e}{P_s}}$$

نسبة الضغط المرحلية بالعمال ضياعات  
الضغط قبل وبعد المبردات

$$x' = ki \sqrt{\frac{P_e}{P_s}}$$

نسبة الضغط المرحلية باهمال ضياعات الضغط  
قبل وبعد المبردات

$$Q_S = c_v \frac{\gamma - n}{n - 1} (T_D' - T_S') \dot{m}$$

$Q_S$  الحرارة المطروحة من الغاز عند التكثيف  
في مرحلة ما

$$Q_K = c_{pm} (T_D' - T_S') \dot{m}$$

$Q_K$  الحرارة المكتسبة لمرحلة ما بين المبرد

$\dot{m}$  معدل تدفق كمية الغاز kg/s

$T_D'$  درجة الحرارة بعد التكثيف في مرحلة ما

$T_S'$  درجة الحرارة عند بداية التكثيف في مرحلة  
ما

$P_e$  الضغط  $P_a$  لمرحلة ما بعد المبرد

$i$  عدد المراحل

$k$  عامل اعتبار ضياعات الضغط في مرحلة ما بين

وما بعد المبرد ( $k = 1.03 \dots 1.2$ )

# هندسة الإنتاج والتشكيل

## 1. التشكيل والقص

### 1.1 التشكيل

#### قواعد حساب التشكيل

تمتلك المواد المعدنية خواص البلاستيكية، حيث تظهر تغيرات مرنة على هذه المواد فور خضوعها لتأثير قوى خارجية، وحتى يقع أي تغير في سلوك هذه المواد ينبغي أن تكون قيمة الإجهاد المتولد بتأثير تلك القوى الخارجية أكبر من متانة التشكيل.

إن التغير المتزايد في شكل المادة ضمن درجة حرارة إعادة البنية الكرسطالية (الزجاجية) يؤدي إلى زيادة متانة المادة.

تنطلق جميع العلاقات التالية من ثبات الحجم  $V_0 = V_1 = V_2 = \dots = V$

#### شروط التشكيل وشروط المادة

$$k_t = \frac{F}{A} = \sigma_w$$

متانة التشكيل بوحدة  $N/mm^2$  (قيم المادة)

وتكون متماثلة خارج حدود المسافة ببعد

حقيقي  $\sigma_w$

$$\epsilon_x = \frac{x_1 - x_0}{x_0} = \frac{x_1}{x_0} - 1 = \frac{\Delta x}{x_0}$$

إن تغير الأبعاد من الأبعاد البدائية والنهائية

منسوبة إلى الأبعاد البدائية، المعطيات غالباً

نسبة مئوية %

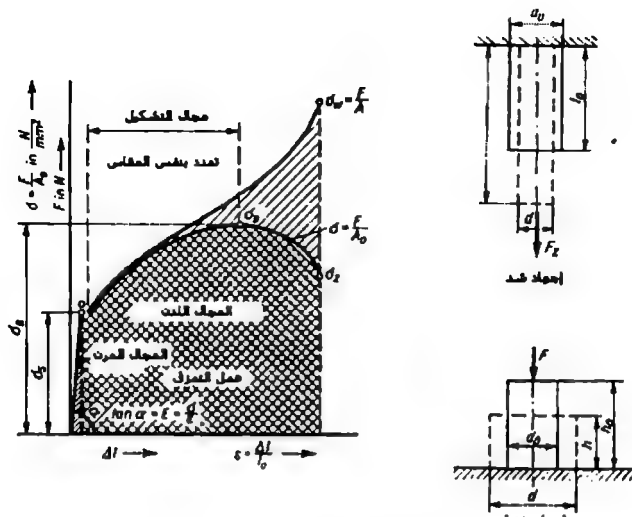
$$\varphi_x = \int_{x_0}^{x_1} \frac{dx}{x} = \ln \frac{x_1}{x_0} = \ln(1 + \epsilon_x)$$

درجة التشكيل، تغيرات شكل لوغاريتمية،

اللوغاريتم الطبيعي لنسبة من نهاية الأبعاد

إلى البداية (انظر الجدول 39)





الشكل 386 مخطط لتغيرات الانفعال والإجهاد لمعدن ذي المحتوى 0.08% كربون

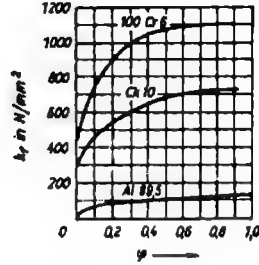
### (المجدول 39) علاقات حساب تغيرات الأبعاد

درجة التشكيل، تغيرات الشكل اللوغاريتمية	تغيرات الأبعاد النسبية		العلاقات البدائية والوسطى والنهائية	
	النسبية	المطلقة		
$\varphi_A = \ln \frac{A_1}{A_0} = \ln(1 + \varepsilon_A)$	$\varepsilon_A = \frac{A_1 - A_0}{A_0} = \frac{\Delta A}{A_0}$	$A = A_1 - A_0$	$A_0, A_1 \dots A_n$	المقطع
$\varphi_l = \ln \frac{l_1}{l_0} = \ln(1 + \varepsilon_l)$	$\varepsilon_l = \frac{l_1 - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0}$	$l = l_1 - l_0$	$l_0, l_1 \dots l_n$	الطول
$\varphi_b = \ln \frac{b_1}{b_0} = \ln(1 + \varepsilon_b)$	$\varepsilon_b = \frac{b_1 - b_0}{b_0} = \frac{\Delta b}{b_0}$	$b = b_1 - b_0$	$b_0, b_1 \dots b_n$	العرض
$\varphi_h = \ln \frac{h_1}{h_0} = \ln(1 + \varepsilon_h)$	$\varepsilon_h = \frac{h_1 - h_0}{h_0} = \frac{\Delta h}{h_0}$	$h = h_1 - h_0$	$h_0, h_1 \dots h_n$	الارتفاع السماكة
$\varphi_d = \ln \frac{d_1}{d_0} = \ln(1 + \varepsilon_d)$	$\varepsilon_d = \frac{d_1 - d_0}{d_0} = \frac{\Delta d}{d_0}$	$d = d_1 - d_0$	$d_0, d_1 \dots d_n$	القطر



## القيم المؤثرة على متانة التشكيل

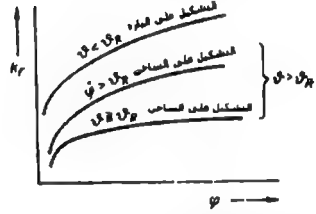
بنية تشكيل المادة (تكوينها)، حالة التكوين (التاريخ الأولي للأداة بالمعنى الواسع) درجة التشكيل  $\phi$  (التاريخ الأولي بالمعنى المحدد)، درجة حرارة التشكيل  $\theta$ ، سرعة التشكيل  $\dot{\phi}$



الشكل 388a، تأثير المادة ودرجة التشكيل على  $k_f$



(الشكل 388c) تأثير درجة الحرارة وسرعة التشكيل على  $k_f$

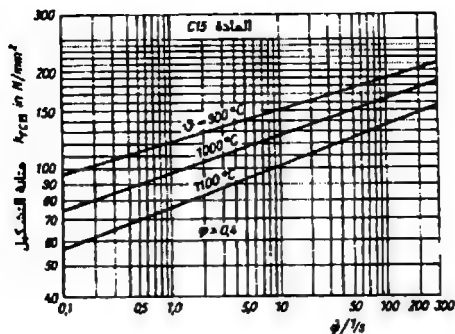


(الشكل 388b) تأثير درجة الحرارة ودرجة

التشكيل على  $k_f$  درجة حرارة إعادة البنية

$\nu_R$ ، تقع سرعة إعادة التشكيل (البنية)

وسطياً عند  $0.1 \frac{1}{s}$



المادة	العامل $n = k_{rx} / k_{rC15}$		
	1100 °C	1000 °C	900 °C
C 15	1	1	1
C 35	1.06	1.10	1.16
C 45	1.02	1.12	1.27
C 60	1.11	1.19	1.38
16 Mn Cr 5	1.05	1.09	1.12
20 Mn Cr 5	1.05	1.10	1.13
26 Cr V 7	1.05	1.09	1.27

(الشكل 389) منحنيات السيلان الحار لـ C15 (مادة أساسية)

(حسب تجربة Nenberger - Mückel - Rötz)

n عامل تحويل الحساب لبعض أنواع الفولاذ

(الجدول 40) عامل تحويل الحساب n لمقاومة التشكيل ومقاومة التشكيل  $k_{rx}$  لبعض أنواع الفولاذ

العامل $n = \frac{k_{rx}}{k_{rC15}}$			المادة
900 °C	1000 °C	1100 °C	
1	1	1	C 15
1.16	1.10	1.06	C 35
1.27	1.12	1.02	C 45
1.38	1.19	1.11	C 60
1.12	1.09	1.05	16 Mn Cr 5
1.13	1.10	1.05	20 Mn Cr 5
1.27	1.09	1.05	26 Cr V 7

$$k_{fx} = nk_{rc15}$$

$k_{fx}$  متانة التشكيل المطلوبة

$n$  عامل تحويل الحساب (الجدول 40)

$k_{rc15}$  متانة التشكيل للمادة الأساسية

$\theta$  درجة حرارة التشكيل °C

قوة التشكيل - عمل التشكيل - مردود التشكيل

$$F = pA$$

قوة التشكيل مقاسة بالواحدة  $N$ ، المساحة  
المجهددة مقاسة بالواحدة  $mm^2$

$p$  الإجهاد الكلي  $N/mm^2$

$$F = k_w A$$

$k_w$  مقاومة التشكيل تحتوي كما في  $p$  إلى جانب  
الإجهادات المثالية إجهادات الاحتكاك والانزلاق

$$F_{id} = k_f A$$

قوة التشكيل المثالية مقاسة بالواحدة  $N$

$$F_{id\ max} = k_{f\ max} A_{max}$$

قوة التشكيل العظمى مقاسة بالواحدة  $N$   
(باعتبار ازدياد القوة وتغيير شكل المرحلة النهائية  
لعملية التشكيل مثلاً (السحب على البارد)

$$W = \int_{h_0}^{h_1} F dh = V_p \int_{h_0}^{h_1} \frac{dh}{h}$$

عمل التشكيل مقاسة بالواحدة  $N \cdot mm$  من أجل  
تعويض  $F = \frac{V}{h} p$ ، حيث  $V$  تمثل حجم التشكيل  
المزاح  $mm^3$

$$W = V_p \ln \frac{h_1}{h_0}$$

من أجل  $\ln \frac{h_1}{h_0} = \phi_h$

$$W = V_p \phi_h; W = V k_f \phi_n$$

من أجل  $p$  قيم تعريف المادة تعويض  $k_f$

$$W_{id} = V w$$

من أجل تعويض  $w = k_f \phi_n$

$$W = W_{id} + W_R + W_S$$

عمل التشكيل يتكون من عمل التشكيل المثالي  
وكذلك من عمل الانزلاق والاحتكاك

$$\eta_u = \frac{W_{id}}{W} = \frac{k_f}{k_w}$$

مردود التشكيل هو نسبة من العمل الحقيقي؛  
والمثالي أو مقاومة التشكيل ومتانة التشكيل

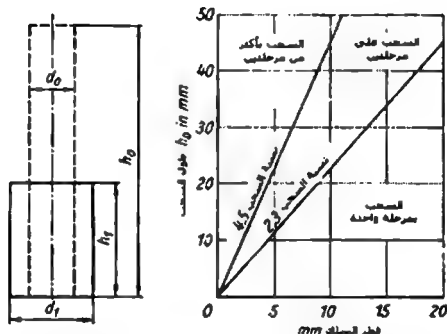
القيم الحقيقية لمردود التشكيل

$\eta_u = 0.4 \dots 0.8$  عند التشكيل على البارد

$\eta_u = 0.2 \dots 0.5$  عند التشكيل على الساخن

## 2.1 التشكيل، القوة والعمل اللازم

### 1.2.1 السحب



(الشكل 390) نسب السحب ومراحل التشكيل

قيم التشكيل

$$s = \frac{h_0}{d_0}$$

نسبة السحب

$$\varphi = \ln \frac{h_1}{h_0} = \ln \frac{A_1}{A_0}$$

مردود السحب (عام) درجة التشكيل

$$\varphi_{\max} = \ln \frac{A_{\max}}{A_0}$$

درجة السحب العظمى

$$\dot{\phi} = \frac{d\phi}{dt} = \frac{v}{h} \quad \text{سرعة التشكيل } \frac{1}{s}$$

v سرعة الأداة اللحظية mm/s

h ارتفاع السحب اللحظي mm

$$\varepsilon = \frac{h_1 - h_0}{h_0} \quad \text{تغيرات الأبعاد النسبية}$$

طول وحجم السحب انظر العلاقات الهندسية في مراجع أخرى

السحب على البارد

$$F = Ak_w = A \frac{k_f}{\eta_F} \quad \text{قوة التشكيل (قوة السحب) مقاسة بالوحدة N}$$

$k_f$  متانة التشكيل

$\eta_F$  مردود التشكيل لقوة السحب

$$F_{\max} = \frac{A_{\max} k_f}{\eta_F} \quad \text{قوة السحب الأعظمية N}$$

$$W = \frac{Vw}{\eta_F} = \frac{Vk_{fm}\phi}{\eta_w} \quad \text{عمل التشكيل (العمل اللازم) N mm}$$

w عمل التشكيل النوعي  $\text{N mm/mm}^3$

$\eta_w$  مردود التشكيل لعمل التشكيل

(الجدول 41) مردود التشكيل تابع لشكل السحب

$\eta_w$ من أجل عمل التشكيل	$\eta_F$ من أجل قوة التشكيل	
0.85 ... 0.98	$\frac{1}{1 + \frac{1}{3} \mu \frac{d}{h}}$	السحب بين صفائح مستوية
0.8 ... 0.9	0.75 ... 0.85	رأس لبرغي سداسي (ست أطراف)
0.6 ... 0.6	0.35 ... 0.45	رأس أسطواني
0.4 ... 0.6	0.3 ... 0.5	رأس غاطس

0.4 ... 0.6	0.3 ... 0.4	رأس كروي
0.35 ... 0.6	0.25 ... 0.4	رأس نصف دائري

عامل الاحتكاك يتعلق بالتشحيم للسحب على البارد  $\mu = 0.05 \dots 0.15$

### السحب على الساخن

تطبق العلاقات المطبقة للسحب على البارد تماماً.

نسبة السحب الممكنة على الساخن في عملية ما

$$S = \frac{h_0}{d_0} = 3$$

قوة التشكيل مقاسة بالوحدة N  $F = A k_f z k$

عامل يأخذ بعين الاعتبار تأثير السرعة المحيطية عند التحويل إلى السحب على الساخن  $z = 1 \dots 2$  عند الضغط،  $z = 2 \dots 5$  عند الطرق

متانة التشكيل مقاسة بالوحدة  $N/mm^2$   $k_{f\text{dyn}} = k_{f\text{stat}} z$

عندما يكون  $\vartheta > \vartheta_R$  و  $\dot{\varphi} > \vartheta_R$

نحصل على  $k_{f\text{stat}}$  عند  $\dot{\varphi} = v_R = 0.1 \frac{1}{s}$  من الشكل (389)، ويؤخذ العامل  $n$  من العلاقة بين المادة الموجودة والمادة الأساسية C15 (الجدول 14)

$$k_s = nk_{C15}$$

من الشكل 389 كتاب لـ  $\vartheta$  و  $\dot{\varphi} = \frac{v}{h}$

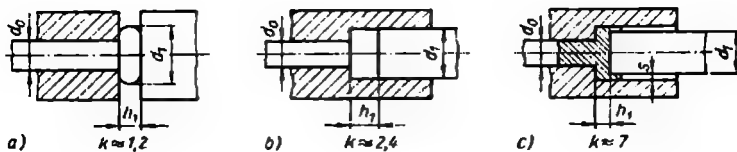
عامل يأخذ بعين الاعتبار ارتفاع الرأس وشكل السحب عند السحب على الساخن وتطابق مردود التشكيل  $\eta_F$  عند السحب على البارد

قوة التشكيل بوحدة N  $F = AK_{f\text{dyn}C15} nk$

عمل التشكيل N.mm  $W = VK_f z k \varphi$

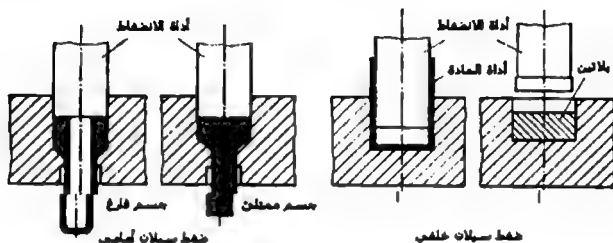
$$W = V k_{f\text{dyn}C15} nk \varphi$$





الشكل 391 عوامل حسب Billigmann

## 1.2.2 ضغط السيلان



الشكل 392 أنواع ضغط السيلان

للمحسابات التقديرية تطبق كلتا حالتي السيلان:

$$F = \frac{A k_{fm} \varphi}{\eta_F}$$

قوة التشكيل مقاسة بالواحدة N

A المقطع، الذي تنقل من خلاله القوة

عند ضغط السيلان إلى الأمام  $A = A_0$

عند ضغط السيلان إلى الخلف  $A = A_{st}$

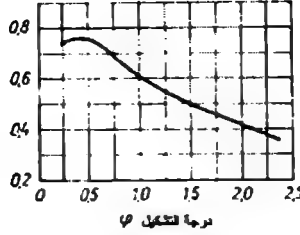
$\eta_F$  مردود التشكيل

$$\eta_F = 0.3 \dots 0.85$$

$\varphi$  درجة التشكيل

$$w = \frac{V k_{fm} \varphi}{\eta_F}$$

عمل التشكيل مقاس بالواحدة N mm



الشكل 393 مردود التشكيل  $\eta_F$  كنابع لدرجة التشكيل  $\varphi$

$$W = k_{fm} \varphi$$

عمل التشكيل النوعي  $N \text{ mm/mm}^3$

$$\varphi = \ln \frac{A_0}{A_1}$$

درجة التشكيل عند ضغط السيلان إلى الأمام

$$\varphi \approx \ln \frac{D_0}{D_0 - d} - 0.16$$

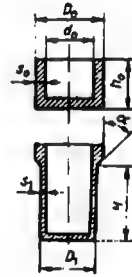
درجة التشكيل عند ضغط السيلان إلى الخلف

في الحسابات الدقيقة

$$F = A_0 k_{fm} \varphi \left( 1 + \frac{\dot{\alpha}}{2\varphi} + \frac{2\mu}{\dot{\alpha}} \right) \pi D_0 h_0 \mu k_{f0}$$

الشكل 394 مميزات القياس للأجسام المفرغة عند ضغط السيلان

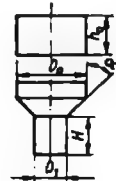
إلى الأمام



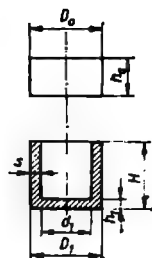
$$F = A_0 k_{fm} \varphi \left( 1 + \frac{\mu}{\dot{\alpha}} + \frac{2}{3} \frac{\dot{\alpha}}{\varphi} \right) \pi D_0 h_0 \mu k_{f0}$$

الشكل 395 مميزات القياس للأجسام المصمتة عند ضغط السيلان

إلى الأمام



الشكل 396 مميزات القياس للأجسام المفرغة عند ضغط السيالان إلى الخلف



$$F = A_{St} \left\{ k_{f1} \left( 1 + \frac{1}{3} \mu \frac{d_1}{h_1} \right) + k_{f2} \left[ 1 + \frac{h_1}{S} \left( 0.25 + \frac{\mu}{2} \right) \right] \right\}$$

$$\varphi_1 = \ln \frac{h_0}{h_1}$$

درجة التشكيل لإيجاد  $k_n$

$$\varphi_2 = \left( 1 + \frac{d_1}{8s} \right) \ln \frac{h_0}{h_1}$$

درجة التشكيل لإيجاد  $k_n$

نطبق مميزات القياس للأشكال في العلاقات.  $A_m$  مقطع الخروج أو المقطع المجهد عند ضغط السيالان إلى الأمام.  $A_{St}$  مقطع ختم الضغط؛ عامل الاحتكاك  $\mu = 0.1 \dots 0.15$

$\bar{\alpha}$  زاوية Matriz

$$W = Fh$$

عمل التشكيل N mm

F قوة التشكيل N

h مسافة الختم، التي تم عندها التشكيل مقاسة بالوحدة mm

$$p_{St} = \frac{F}{A_{St}}$$

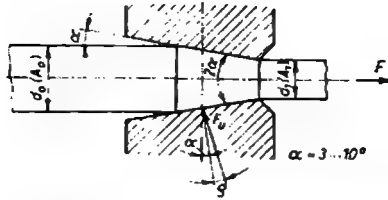
ضغط الختم  $N/mm^2$

F قوة التشكيل N

$A_{St}$  مساحة الختم مقاسة بالوحدة  $mm^2$

$$p_{St} \leq 2500 N/mm^2$$

### 3.2.1 سحب الأسلاك والقضبان



الشكل 397 مميزات القياس عند سحب البروفيل

$$F = A_1 k_{wm} \varphi = A_1 \frac{k_{fm}}{\eta_F} \varphi$$

قوة السحب مقاسة بالوحدة N

مردود التشكيل  $\eta_F \approx 0.4 \dots 0.7$

$$\eta_F = \frac{1}{\left(1 + \frac{\mu}{\alpha} + \frac{2}{3} \frac{\alpha}{\varphi}\right)}$$

درجة التشكيل  $\varphi = \ln \frac{A_1}{A_0}$

$$F = A_1 w \left(1 + \frac{\mu}{\alpha} + \frac{2}{3} \frac{\alpha}{\varphi}\right)$$

عمل التشكيل مقاس بالوحدة N mm

$$W = V w \left(1 + \frac{\mu}{\alpha} + \frac{2}{3} \frac{\alpha}{\varphi}\right)$$

$$P = F v$$

استطاعة سحب الفوهة kW

v سرعة السحب m/s

(الجدول 42) عامل الاحتكاك للسحب خلال فوهة

المادة	التشحيم	مادة فوهة السحب	
Ms 63	زيت	فولاذ	0.1
Ms 63	زيت	معدن قاس	0.06
فولاذ، متوهج طري	زيت أو صابون	معدن قاس	0.04 ... 0.06
النيوم	زيت آلات أو زيت سحب	فولاذ	0.15 ... 0.17

$$v = \frac{F}{A_1 \sigma_B} = \frac{k_{fm} \phi}{\sigma_B \eta_F}$$

تقارن درجة التعب الإجهاد الطولي المتولد خلال  
قوة السحب مع متانة سحب للمادة

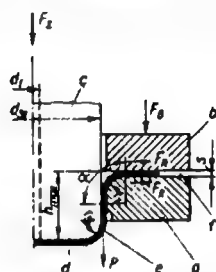
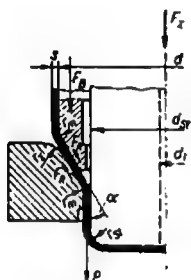
$$v = \frac{w}{\sigma_B \eta_F}$$

$$v \leq 0.75$$

$$\phi_{max} = \partial \eta_F \frac{\sigma_B}{k_{fm}}$$

درجة التشكيل العظمي

#### 4.2.1 السحب العميق مع ختم التشكيل



الشكل 398 b السحب العميق المسمر

الشكل 398a السحب العميق

a حلقة السحب، b ماسك، c الختم، d جزء السحب

e مجال نقل القوة، r مجال محيط الشكل

السحب العميق

$$F_{id} = \pi d s l k_{fm} \ln \frac{D_z}{d}$$

قوة السحب المثالية N

$$F_z = \pi d s \left\{ \left( 1 + \frac{\pi \mu}{2} \right) \left( l k_{fm} \ln \frac{D_z}{d} + \frac{\mu}{2} \left[ \left( \frac{D_o}{d} \right)^2 - 1 \right] \frac{d^2 p_B}{D_z s} \right) + \frac{k_{f1} s}{2 r_2} \right\}$$

احتياج القوة الحقيقي N باعتبار نصيب إعادة

الانعطاف والاحتكاك (حسب Siebel)  $\mu \approx 0.2$

قطر البلاتين mm، التي تظهر عنده القوة العظمي

نسبة السحب (D قطر التدوير، d قطر السحب)

$$D_z = d \sqrt{0.7 \beta^2 + 0.3}$$

$$D_z \approx d(0.77 \beta + 0.23)$$

$$\beta = \frac{d_n - 1}{d_n} = \frac{D}{d}$$

$$\varphi_1 = \ln \sqrt{0.3\beta^2 + 0.7}$$

درجة التشكيل  $\varphi_1$ ، التي تحدد  $k_{f1}$  من منحنى  
السيلان (درجة التشكيل في طرف السحب)

$$\varphi_2 = \ln \frac{\beta}{0.7\beta^2 + 0.3}$$

$$k_{fm} = \frac{k_{f1} + k_{f2}}{2}$$

متانة التشكيل الوسطية  $N/mm^2$

$$\varphi_z = \ln \frac{D_z}{d} = \ln \sqrt{0.7\beta^2 + 0.3}$$

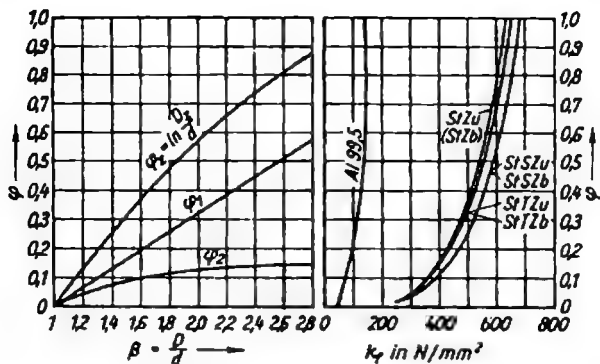
درجة التشكيل لحظة تأثير القوة العظمى

(المجدول 43) نسب السحب لبعض المواد

(تصلح لأجل  $s = 1 \text{ mm}$  وقطر  $d = 100 \text{ mm}$ )

القيم المسموح بها للسحب					
متانة الشد	مع توهج	نسبة السحب بدون توهج		وصف المادة	
		$\beta_2$	$\beta_1$	جديد	قديم
$\sigma_{RB}$ $N/mm^2$	$\beta_2$	$\beta_2$	$\beta_1$		
280 ... 500	1.5	1.2	1.7	StG, StGu	St I-III 23
280 ... 420	1.6	1.2	1.8	StZu, StZb	St V-VI 23
280 ... 420	1.65	1.25	1.9	StTZu, StTZb	St VII 23
280 ... 400	1.7	1.3	1.9	StSZu, StSZb	St VIII 23
210 ... 250	1.9	1.3	2.0	Cu	Cu
310	1.9	1.4	2.0	CuZn 30	مسحوب عميقاً 72 Ms
78	1.8	1.3	1.9	Al 99.5	ألنيوم صافي 7w AluF
160 ... 210	1.7	1.4	1.8	AlMg 3 F 18	AlMg 3w
230 ... 250	-	-	1.55	AlMg 3 F 23	AlMg 3 1/2 H
180 ... 250	1.8	1.4	1.9	AlCuMgF 20	AlCuMg w

النسبة  $d : s$  تعتبر العامل  $k$  عند  $d : s > 20$ ، تكون  $k = 1$  وعندما  $d : s$  بين 20 ... 2 تقع  $k$  بين 0.4 ... 1



الشكل 399 مخطط لتعيين درجة التشكيل  $\phi_1, \phi_2, \phi_3$

الجزء المشطوف الاسطواني المحيطي من صفيحة فولاذية

$$\beta_n = \beta_1 n^{-0.7\beta_1}$$

(الصيغة التقريبية حسب Volter)

$$\log \beta_n = \log \beta_1 - 0.07 \beta_1 \log n$$

تعطى قيم  $\beta$  من أجل  $s = 1 \text{ mm}$  (انظر الجدول 43)،  $n$  عدد المراحل

علاقة التصحيح (حسب Ochler)

$$\beta_{\text{zul}} = ck\beta$$

للفصائح مقاسة بالوحدة  $s \leq 1 \text{ mm}$  تقع  $c$  في صفائح الفولاذ بين 0.8 ... 1.15

ولسماكة الصفيحة بين 0.3 ... 3 mm

$$w = 0.75 F_x \cdot h$$

العمل اللازم  $N$

$$p_B = 0.0025 \left[ (\beta_1 - 1)^2 + 0.005 \frac{d}{s} \right] \sigma_B$$

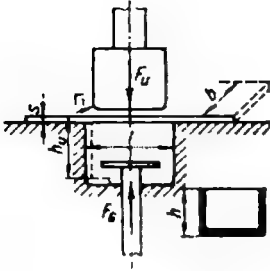
ضغط تماسك الصفيحة  $N$

قوة الصفيحة المحافظ بوحدة  $N$

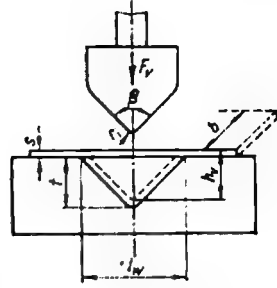
$$F_B = A p_B$$

$A$  المساحة الفعالة  $\text{mm}^2$

### 5.2.1 الشني



الشكل 401 الشني على شكل U



الشكل 400 الشني على شكل V

$$F_V = \frac{bs^2\sigma_B}{l'}$$

قوة الشني بدون قوة السنبكة عند الشني على شكل

V مقاسة بالوحدة N

$l' = l_w - s$  عرض العمق الفعال

نصف قطر الشني الأصغري

$c = 0.5 \dots 0.6$  فولاذ حراري

$c = 0.3 \dots 0.4$  نحاس أصفر

$c = 0.6$  ألنيوم طري

$$F_{V \max} \approx 2F_V$$

قوة الشني النهائية مقاسة بالوحدة N وما يتبعها قوة

الشني

$$W_V = \frac{1}{3} F_{V \max} h_V$$

قوة الشني N mm

$$W_V = \frac{1}{3} F_{V \max} \frac{l'}{2}$$

$$F_U = 0.4 \sigma_B bs$$

قوة الشني مقاسة بالوحدة N عند الشني على شكل U

$$F_{U \max} = 2F_U$$

قوة الشني الأعظمية N



$$F_G = (0.2 \dots 0.4) F_U$$

قوة رد الفعل N

$$W_U = \frac{1}{3} F_{U\max} h_U$$

عمل الثني N

$$W_U = \frac{2}{3} (F_U + F_G) h_U$$

عمل الثني مقاسة بالواحدة N عند الانخفاض مع حامل عكسي

$$h_U = (2 \dots 4) s$$

حجم العمل الضروري

$$M_b = Fr_s = \frac{c_p \sigma_B b s^2}{4}$$

عزم الثني على آلة إزالة الأطراف N mm

$c_b$  قيم الثني عند:

$\frac{f_i}{s} = 0.5$	$c_b = 1.6$
$\frac{f_i}{s} = 1.0$	$c_b = 1.3$
$\frac{f_i}{s} = 2.5$	$c_b = 1.1$

$$W_K \approx \frac{2}{3} M_b \hat{\beta}$$

عمل الثني لإزالة الأطراف N mm

$\hat{\beta}$  زاوية الثني مقاسة بالقوس

$$M_b = \frac{1}{3} \sigma_B W_b$$

عزم الثني N mm عند الثني للأنابيب على آلة ثني الأنابيب

$$W_b \approx 0.8 D_m^2 s$$

عزم المقاومة للأنابيب ذات الجدران الرقيقة ( $s < 0.04D$ )

$$W_b = 0.1 \frac{D^4 - d^4}{D}$$

عزم المقاومة للأنابيب ذات الجدران المثينة

( $s \geq 0.04D$ )

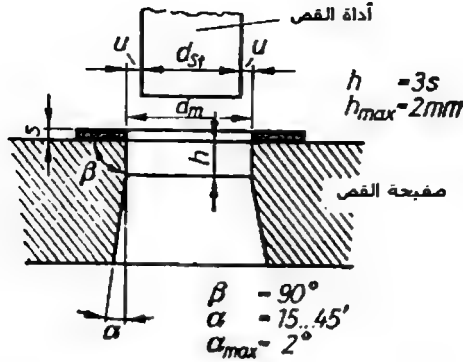
$$W = M_b \hat{\beta}$$

عمل الثني مقاس بالواحدة N mm

$\hat{\beta}$  زاوية الثني مقاسة بالواحدة rad (قياس القوس)

### 3.1 القص (القص المتوازي)

القص، الثقب - الفصل بالقص



الشكل 402، القص، والثقب

$$F = A_s \tau_{sB}$$

قوة القص مقاسة بالوحدة N، حيث  $A_s =$

$Ls$

$$F = L \cdot s \times 0.8 \sigma_{zB}$$

$L$  طول القطع (المحيط مقاسة بالوحدة mm)

$s$  سماكة الصفحة مقاسة بالوحدة mm

$\tau_{sB} \approx 0.8 \sigma_{zB}$  متانة القص مقاسة بالوحدة

$N/mm^2$

$$W = \chi F s$$

عمل التشكيل مقاسة بالوحدة N mm

$$W = \chi L s^2 \times 0.8 \sigma_{zB}$$

$\chi = 0.65$  من أجل  $1 \dots 2 \text{ mm}$

$$u = cs \sqrt{0.8 \sigma_{zB}}$$

يجرى القص  $u$  مقاسة بالوحدة mm من

أجل  $s = 3 \text{ mm}$

$$u = (1.5cs - 0.015) \sqrt{0.8 \sigma_{zB}}$$

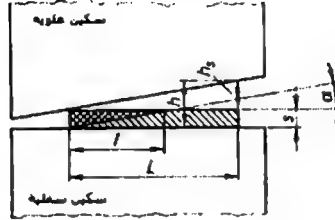
من أجل  $s > 3 \text{ mm}$

العوامل:

$$\sigma_{zB} \leq 500 \text{ N/mm}^2 \text{ من أجل } c = 0.005$$

$$\sigma_{zB} > 500 \text{ N/mm}^2 \text{ من أجل } c \geq 0.01$$

القص بالواح قص (القص المتقاطع)



الشكل 403، القص على لوح قص

$$F = A_s \tau_{zB}$$

قوة القص مقاسة بالوحدة N، حيث

$$F = \frac{s^2 0.8 \sigma_{zB}}{2 \tan \alpha}$$

$$A_s = \frac{ls}{2}; \quad l = \frac{s}{\tan \alpha}$$

$$W = Fh = F(L \tan \alpha + s)$$

العمل اللازم مقاس بالوحدة N mm حيث

$$h = h_s + s$$

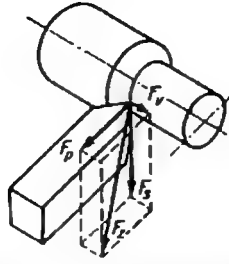
$$h_s = L \tan \alpha$$

## 2. الخراطة

### 2.1 علاقات الخراطة الأساسية

عند التطبيق المناسب للمعرفة في قلم الخراطة المستقلة يمكن نقل هذه المعرفة على مشاكل الخراطة الأخرى. تستخدم عوامل العمليات من أجل عمليات الإجهاد المختلفة.

$F_s$  قوة القطع



الشكل 404 مركبات القوى في أداة ذات قطع مفرد

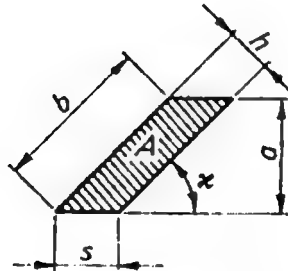
$F_s$  قوة القطع،  $F_p$  القوة السلبية،  $F_v$  القوة الانزلاقية،  $F_z$  قوة الإجهاد

قيم الضغط

$a$  عمق القطع بوحدة mm،  $\chi$  زاوية التعيين بالدرجة °

$s$  المسافة الانسحابية لكل دورة من القلم (mm/U)

قيم الحساب



الشكل 405 قيم الخراطة

مقادير الخراطة

$$b = \frac{a}{\sin \chi}$$

عرض الخراطة مقاس بالوحدة mm

$$h = s \sin \chi$$

سمائة الخراطة مقاسة بالواحدة mm

$$A = as = bh$$

مقطع الخراطة مقاس بالواحدة mm<sup>2</sup> (إهمال زيادة القطع وأنصاف أقطار القمم)

$$k_s = \frac{F_s}{as} = \frac{F_s}{bh}$$

قوة القطع النوعية N/mm<sup>2</sup>

$$\frac{F_s}{b} = k_{sl.1} \cdot h^{1-m}$$

قانون قوة قطع Kienzle (تشمل تأثير s أو h)

$$k_s = \frac{k_{sl.1}}{h^m}$$

قوة القطع النوعية المنسوبة للمادة N/mm<sup>2</sup> (فقط أثناء تطبيقها على الدوران) عند 1 mm ثخانة الرايش و 1 mm عرض الرايش (انظر الجدول 44)

$$m = \tan \rho$$

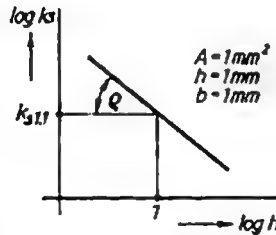
ظل زاوية التقدم (ميل زاوية الصعود)

$$1 - m$$

قيم الزيادة

$$G = \pi d n$$

سرعة القطع مقاسة بالواحدة m/s (الصيغة العامة)



الشكل 406،  $k_s$  كنابع لـ  $h$

T زمن الوقوف

T زمن القطع لأداة جديدة مجلوخة

$v_{60}$ ;  $v_{240}$ ;  $v_{480}$

سرعات قطع زمن الوقوف

$v_T$  مقاسة بالواحدة m/min (دوران  $v_{60}$ ؛ دوران المسدس

$v_{240}$ ، الدوران الآلي  $v_{480}$ )

الجدول 44 قوة القطع النوعية الوسطية عند المعالجة بالخرطاة

المادة	$\sigma_B/N\text{ mm}^{-2}$ bzw. MPa قوة Brinell HB	l-m	$\frac{K_t}{N/mm^2}$	mm عند h MPa أو $N/mm^2$ بـ K <sub>t</sub>									
				0.063	0.10	0.16	0.25	0.40	0.63	1.0	1.6	2.5	
St 34, St 42	500 حتى	0.83	1780	2820	2600	2400	2240	2060	1920	1780	1640	1520	
St 50	520	0.74	1990	4200	3610	3190	2830	2500	2240	1990	1780	1580	
St 60	620	0.83	2110	3310	3080	2830	2620	2440	2270	1110	1960	1820	
St 70	720	0.70	2260	5120	4500	3920	3410	2990	2600	2260	1980	1740	
Ck 45	670	0.86	2220	3240	3040	2840	2660	2500	2340	2220	2090	1960	
Ck 60	770	0.82	2130	3430	3150	2920	2700	2490	2300	2130	1960	1810	
16 MnCr 5	770	0.74	2100	4350	3830	3400	3020	2660	2360	2100	1880	1670	
GGL 15	200	0.79	950	1670	1510	1370	1250	1140	1040	950	850	780	
GGL 25	245	0.74	1160	2360	2100	1870	1660	1470	1300	1160	1050	930	

عينت بالقيم: المعادن الفاسية، قص عمل حاد، دون إعطاء مجال الارتفاع

زاوية الأداة	$\alpha^\circ$	$\beta^\circ$	$\gamma^\circ$	$\epsilon^\circ$	$\chi^\circ$	$\lambda^\circ$	R mm	سرعة القطع $v = 90 \dots 125 \frac{m}{min}$
معالجة الفولاذ	5	79	6	90	45	4	1	المعدنية: دوران طولي $b : h \geq 4$
معالجة حديد الصلب	5	83	2	90	45	4	1	قابل للتطبيق بوسائل المعالجة، القشط، النقش، التفريز، التحليل، والتجفيف

$$B = t^n C_B$$

العلاقة بين B-v-t

B عرض المميز الاستهلاكي mm

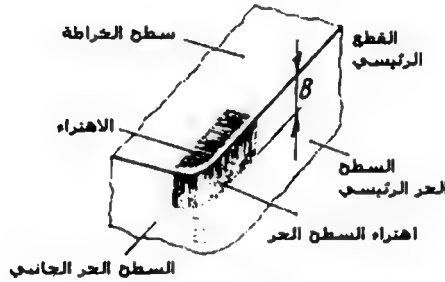
t زمن القطع مقاس بالوحدة min

v سرعة القطع m/min

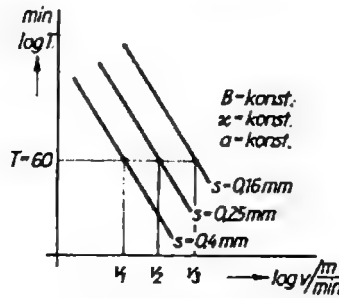
n = tan η قيمة الصعود

C<sub>B</sub> ثابت

عرض المميز المستهلك الاعتيادي 0.2 ± 0.5 ± 0.8 mm و 1.2  
حسب طريقة إنجاز العمل.



الشكل 407a أشكال الاهتراء في أداة القطع



الشكل 407b، مخطط T, v, s

$$v_T = \frac{C_T}{T^y} \quad \text{سرعة القطع في زمن الوقوف } m/min$$

$C_T$  سرعة القطع من أجل  $T = 1 \text{ min}$  زمن الوقوف

$y$  أس زمن الوقوف

$$v_{lat} = \pi d n_{lat} \quad \text{سرعة قطع زمن الوقوف الحقيقي الممكن الوصول إليه } m/min$$

$d$  القطر مقياس بالوحدة  $m$  حيث:

للمعالجة الخارجية - قطر الأنبوب

للمعالجة الداخلية - قطر جاهرز

$$n_{lat} \text{ مقاسة بالواحدو } \frac{U}{min} \text{ عدد الدورات الحقيقي القابل للتغيير}$$

في الآلة

$$v_{Tth} = v_{TTab} K_x K_a K_{Kr} K_U K_{ku} K_B \quad \text{سرعة القطع النظرية بزمن الوقوف } m/min$$

$v_{TTab}$  سرعة القطع بزمن الوقوف

$K_x$  عامل التصحيح لزاوية العيار (تتعلق بالمادة والقطع)

وبتقريب كبير نطبق:

$$K_x = 1 \text{ عند } \chi = 45^\circ, K_x = 0.95 \text{ عند } \chi = 70^\circ, K_x = 0.9 \text{ عند } \chi = 90^\circ$$

$K_a$  عامل التصحيح لعمق القطع (يتعلق بمادة القطع) للمعادن القاسية ذات المحتوى

العال من التيتان الكاربيد

(نوع  $p$ ) نطبق  $K_a = 1$  عند  $a = 5 \text{ mm}$ ؛ قيمة  $K_a$  تزداد عند  $a = 1 \text{ mm}$  إلى  $K_a =$

$$1.18, \text{ إن قيمة } K_a \text{ تنخفض حتى } a = 10 \text{ mm} \text{ إلى } K_a = 0.92$$

$K_{Kr}$  عوامل التصحيح من أجل قشور الدرفلة والقص أو الصب

$$K_{Kr} = 1 \text{ للمواد بدون قشور}$$

$$K_{Kr} = 0.7 \dots 0.75 \text{ للفولاذ مع قشرة}$$



$$K_{Kr} = 0.6 \text{ — GG مع قشرة}$$

$$K_{U} \text{ عوامل التصحيح لتوقفات القطع}$$

$$K_{U} = 1 \text{ بدون توقفات القطع}$$

$$K_{U} = 0.8 \dots 0.85 \text{ عند توقفات القطع}$$

$$K_{Ku} \text{ عامل التصحيح للتبريد}$$

$$K_{Ku} = 1 \text{ عند القطع الجاف}$$

$$K_{Ku} = 1.4 \dots 1.5 \text{ التبريد أثناء الدوران}$$

$$K_{Ku} = 1.8 \text{ تبريد عند دوران المسلس}$$

$$K_{Ku} = 1.75 \text{ تبريد عند الثقب}$$

$$K_B \text{ عامل تصحيح لعرض المميز المتآكل:}$$

$$\text{المعادن القاسية تكون } K_B = 1 \text{ عند } B = 0.8 \text{ mm و } K_B = 0.8 \text{ عند } B = 0.5 \text{ mm عرض المميز المتآكل.}$$

$$v_{Th} = \pi d n_{th}$$

$$\text{سرعة زمن الوقوف النظرية m/min}$$

$$n_{th} = \frac{v_{Th}}{d}$$

$$\text{عدد الدورات النظرية U/min}$$

$n_{th}$  عدد الدورات القابلة الحقيقية للتعبير في الآلة U/min، التي تكون قريبة من عدد الدورات النظرية ويتم اختيارها في الشروط النظامية لآلية أقل من  $n_{th}$ ، وبذلك ينخفض زمن الوقوف المطلوب.

$$V = A v = a s v$$

$$\text{حجم الرايش cm}^3/\text{min}$$

$$F_s = b h^{1-m} k_{s1} \dots$$

$$\text{معادلة قوة القطع حسب Kienzle بوحدة N}$$

$$\text{(حقل التوزيع الطبيعي حسب Kienzle من}$$

$$18\% \rightarrow 12 \text{ من قوة القطع)}$$

$$F_s = a s k_s K_v K_y K_{sch} K_{ver}$$

$$K_{\gamma} = 1 - \frac{\gamma - \gamma_0}{66.7}$$

من أجل مادة رايش طويلة  $\gamma_0 = 6^\circ$

من أجل مادة رايش قصيرة  $\gamma_0 = 2^\circ$

$K_{Sch}$  عامل التصحيح لمادة القطع

$K_{Sch} = 1$  لجميع المعادن القاسية والفولاذ ذو العمل السريع.

$K_{Sch} = 0.95 \dots 0.9$  لسيراميك القطع للفولاذ ومعالجة حديد الصب.

$K_v$  عامل التصحيح لسرعة القطع

عوامل التصحيح

v m/min	20	30	40	50	60	70	80	100	200	300	400
$K_v$	1.25	1.2	1.15	1.1	1.08	1.05	1.03	1.0	0.96	0.93	0.91

هذه القيم صالحة للخراطة، للفرز، للقشط والصدم

عند القشط والصدم تطبق  $K_v = 1.18$  كقيمة وسطية، عند الثقيب، عند النشر،

والتحويف وعلى العكس تحذف  $K_v$  عند التخليخ.

$K_{ver}$  عامل التصحيح للاهتراء

$K_{ver} = 1$  لأداة حادة

$K_{ver} = 1.3 \dots 1.5$  لأداة غير حادة

استطاعة القطع والتشغيل  $P_A$  و  $P_s$

$$P_s = F_t v_T$$

استطاعة القطع kW

$F_t$  مقاسة بالواحدة N؛  $v_T$  مقاسة بالواحدة m/s

$$P_A = \frac{P_s}{\eta}$$

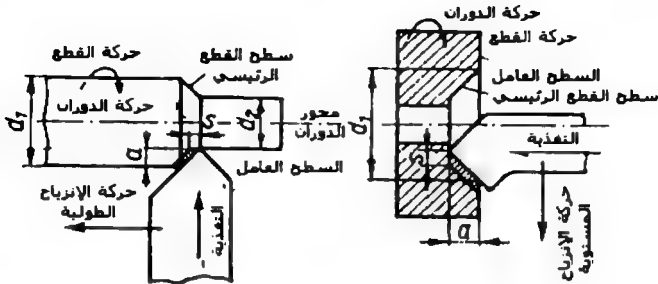
استطاعة التشغيل للأداة

$\eta$  مردود لأداة القطع  $\eta = 0.7 \dots 0.85$

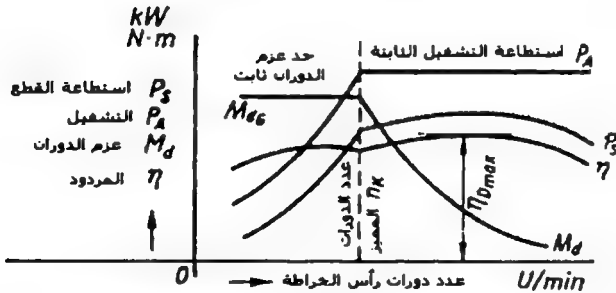
( $P_A$  الاستطاعة الاسمية للمحرك الكهربائي)

## 2.2 حساب قوى القطع، استطاعة القطع والتشغيل

### 1.2.2 الخراطة



الشكل 408 حركة أداة القطع والأداة



الشكل 409 خطوط تعريف آلة الدوران (آلة ذات مراحل)

$$s = B = \frac{n_{\max}}{n_{\min}}$$

مجال عدد الدورات

$$\phi = z \sqrt{\frac{n_{\max}}{n_{\min}}} = z \sqrt{B}$$

قفزة المراحل

النظامية 1.2 ؛ 1.25 ؛ 1.4 ؛ 1.6 ؛ 2.0

$$* M_{dG} = 9555 \frac{P_{sK}}{n_K}$$

حد عزم الدوران Nm

$P_{sK}$  استطاعة القطع kW عند عدد الدورات الاسمي  
 $n_K$  عدد الدورات الاسمي (عندما تكون غير معطاة  
 من المنتج، غالباً في نهاية الربع الأول من مجال عدد  
 الدورات)

## 2.2.2 القشط والصدم

قوى القشط انظر العلاقات الأساسية.

استطاعة القطع للقشط والصدم كما في العلاقات الأساسية، بدلاً من  $v$  نعوض  $v_a$   
 عند القشط و  $v_{am}$  عند الصدم.

$$* v_a = \frac{\pi m z n_a}{1000}$$

سرعة القطع m/min عند الشوط العامل، m المودول،

z عدد أسنان شقوق التشغيل

$n_a$  عدد الدورات لشقوق التشغيل

$$* v_r = \frac{\pi m z n_r}{1000}$$

سرعة الإرجاع m/min

$n_r$  عدد دورات الإرجاع لشقوق التشغيل

$$q = \frac{v_r}{v_a}$$

نسبة السرعة  $q = 1.4 \dots 1.35$

تكون q صغيرة عند قصر القشط وكبيرة عند طول القشط

تصلح أيضاً من أجل التشغيل الهيدروليكي الكامل، لأن  $v_a$

و  $v_r$  قابلتان للمعايرة

$$P_A = \frac{[F_s + \mu(G_T + G_W)]v_a}{\eta}$$

استطاعة التشغيل kW

$v_a$  سرعة القطع عند شوط العمل m/s

$G_T$  وزن الطاولة N

$G_W$  وزن الأداة N

$\mu \approx 0.15$  للمسار المسطح

$\mu \approx 0.3$  للمسار على شكل V

$\eta = 0.4 \dots 0.75$

الصدوم مع دوران ذراع الإدارة المهتز بـ  $q = 1.4 \dots 2$

(في آلية بسيطة (طول الشوط  $> 250 \text{ mm}$ ) تصبح  $q = 1$ )

سرعة القطع الوسطية عند شوط العمل  
 $v_{am} = \frac{L180^\circ \cdot n_{DH}}{\alpha^\circ}$

سرعة الإرجاع الوسطية عند شوط الإرجاع  
 $v_{rm} = \frac{L180^\circ \cdot n_{DH}}{\beta^\circ}$

تجيب الزاوية  $\beta$  ( $\alpha + \beta = 180^\circ$ )  
 $\cos \beta = \frac{L}{2R}$

R ثابت الآلة (نصف القطر، الذي يصف الذراع المهتز)

السرعة الوسطية  
 $v_m = 2Ln_{DH} = \frac{2L}{t_a + t_r}$

$t_a$  زمن شوط العمل

$t_r$  زمن شوط الإرجاع

استطاعة التشغيل مقاسة بالوحدة kW  
 $P_A = \frac{F_a v_{am}}{\eta}$

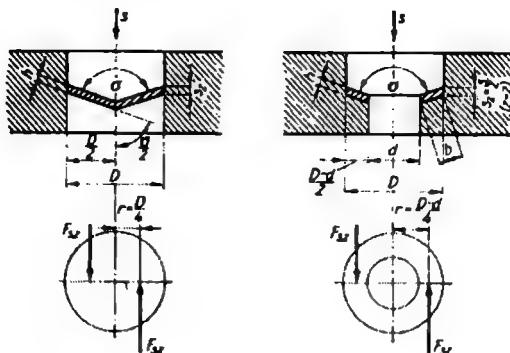
$v_{am}$  سرعة القطع الوسطية أثناء شوط العمل m/s

$\eta = 0.6 \dots 0.8$

### 3.2.2 الثقب

يمكن تطبيق علاقات قوى القطع حسب Victor أيضاً كما حسب Kienzle.

التشابه بين الثقب والخراطة الداخلية.



الشكل 410، علاقات القيم والقوى أثناء الثقب

$$s_z = \frac{3}{2}$$

الشروط لكل قطعة مقاس بالوحدة mm/z

s الشروط لكل دورة ثقب مقاس بالوحدة mm/U

z عدد القطعات (z=2 أثناء الثقب اللولبي)

$$h = s_z \sin \frac{\sigma}{2}$$

سمكة الرايش مقاسة بالوحدة mm

$$b = \frac{D-d}{2 \sin \frac{\sigma}{2}}$$

σ زاوية القمة

عرض الرايش مقاس بالوحدة mm

D قطر الثقب مقاس بالوحدة mm

d القطر المثقوب مسبقاً

$$F_{sz} = \frac{D-d}{2} s_z k_s f_B K_{ver}$$

قوة القطع مقاسة بالوحدة N في بداية الثقب

$$F_{sz} = \frac{D}{2} s_z k_s f_B K_{ver}$$

قوة القطع مقاسة بالوحدة N أثناء الثقب بكامل المادة

k\_s الثقب ≈ k\_s عند الخراطة، تحسب كتابع لـ h

## عوامل العملية

$f_B = 1$  أثناء الثقب لكامل المادة

$f_B = 0.95$  في بداية الثقب

$K_{ver} = 1.25 \dots 1.4$  عامل التصحيح لاستهلاك القطع

قوة الإزاحة مقاسة بالواحدة N

$$F_v \approx 2F_{sz} \sin \frac{\sigma}{2}$$

$$M_d = 2F_{sz} \frac{D}{4} \frac{1}{10}$$

عزم الدوران أثناء الثقب بكامل المادة مقاس

بالواحدة N cm ؛ D مقاسة بالواحدة mm

$$M_d = F_{sz} \frac{D}{20}$$

$$M_d = 2F_{sz} \frac{D+d}{4} \frac{1}{10}$$

عزم الدوران في بداية عند الثقب مقاس بالواحدة

N cm

$$M_d = F_{sz} \frac{D+d}{20}$$

D و d مقاسان بالواحدة mm

$$* P_s = \frac{M_d n}{955000}$$

استطاعة القطع مقاسة بالواحدة kW عند الثقب بكامل المادة

n مقاسة بالواحدة 1/min و  $M_d$  مقاس بالواحدة N cm

$$P_s = F_{sz} v$$

استطاعة القطع مقاسة بالواحدة kW

$$P_s = \frac{1}{2} F_{sz} (v_D + v_d)$$

استطاعة القطع مقاسة بالواحدة kW في بداية الثقب

$v_D$  سرعة القطع عند القطر الأعظمي m/s

$v_d$  سرعة القطع عند القطر الأصغري m/s

استطاعة التشغيل مقاسة بالواحدة kW بإهمال

استطاعة الانزلاق الصغرى

$$P_A = \frac{P_s}{\eta}$$

$\eta = 0.75 \dots 0.85$  مردود آلة الثقب

## 4.2.2 السحل

معطيات القيم (انظر الشكل 246)

انظر أيضاً علاقات الثقب، عند السحل يكون عامل القطع غالباً أكبر من 2

$$h = s_z = \frac{s}{z}$$

سماكة الرايش مقاسة بالواحدة mm عند رأس أو عنق

$$\left( \frac{\sigma}{2} = 90^\circ; \sin \frac{\sigma}{2} = 1 \right) \text{ أداة السحل}$$

عامل العملية  $f_{se} = 1.0$

عامل التصحيح لاستهلاك القطع  $K_{ver} = 1.3$

$$F_{sz} = \frac{D-d}{2} s_z k_s f_{se} K_{ver}$$

قوة القطع للقصبة الواحدة مقاسة بالواحدة N

$$M_d = F_{sz} \frac{z(D-d)}{4 \times 10}$$

عزم الدوران مقاس بالواحدة N cm

$$P_s = \frac{F_{sz} z (v_D + v_d)}{2}$$

استطاعة القطع مقاسة بالواحدة kW

$v_d, v_D$  مقاستان بالواحدة m/s

## 5.2.2 الحك

$$* P_s = \frac{M_d n}{955000}$$

استطاعة القطع مقاسة بالواحدة kW

عزم الدوران N cm (قيم تجريبية)

n مقاسة بالواحدة U/min

إن حساب القوى والاستطاعات أثناء الحك غير ضروري في أغلب الأحيان.

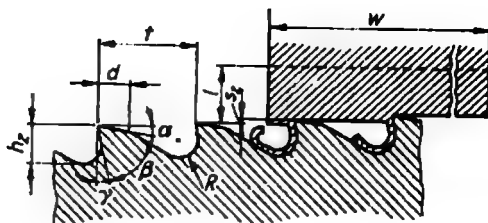
## 6.2.2 التفريغ

عواما الرايش هي:

سرعة قص منخفضة، انزلاق أسنان منخفض، رايش لولي، أدوات متعددة القطع مرور الرايش عند التفريغ الداخلي والخارجي مختلف، والطلاء والتلميع بعملية واحدة.



نسب الهجوم في التفريغ



$$F_s = a k_s s_z z_i E f_R K_\gamma K_{ver}$$

قوة القطع بوحدة N للتفريغ الداخلي والخارجي  
مع قطع متوسطة منتظم مهترئة (مستهلكة)  
عوامل العملية:

$$f_R = 1.6 \text{ للتفريغ الداخلي}$$

$$f_R = 1.05 \text{ للتفريغ الخارجي}$$

عامل التصحيح للاستهلاك  $K_{ver} = 1.3 \dots 1.5$  أكبر  
قيمة حوالي نهاية زمن الوقوف.

w طول التفريغ في قطعة المساحة مقاس بالوحدة mm  
عدد الأسنان المعترضة

$$n = \frac{w}{t}$$

$$t = 1.7 \dots 1.8 \sqrt{w}$$

t جزء السن المضروب مقاس بالوحدة mm

$$t_s = \frac{a s_z k_s w K_\gamma f_R}{A_{w \min} \sigma_{z \text{ alla}}}$$

التجزئ المسموح به mm (يجب أن يمنع تجاوز  
متانة الأداة)

$$A_{w \min} \text{ مقطع الأداة الأصغري } \text{mm}^2$$

$\sigma_{z \text{ alla}}$  متانة الشد المسموح به للأداة الفولاذية

$$\sigma_{z \text{ alla}} = 300 \dots 350 \text{ N/mm}^2$$

يجب التحقق أن  $t \geq t_F$ ,  $t \geq t_s$

$$F_{\text{allal}} = \frac{2}{3} F_{\text{nom}}$$

قوة القطع المسموح بها مقاسة بالوحدة N

$F_{\text{nom}}$  قوة الشد الاسمية مقاسة بالوحدة N

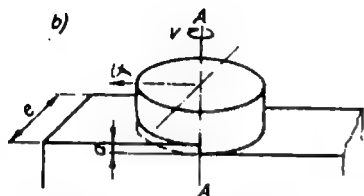
$$P_s = F_s v$$

استطاعة القطع kw

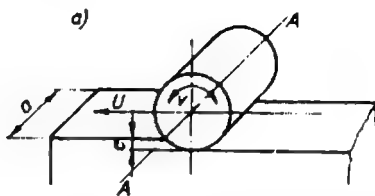
v سرعة القطع m/s

## 7.2.2 التفريز

من أجل شرح المصطلحات هناك الأشكال التالية



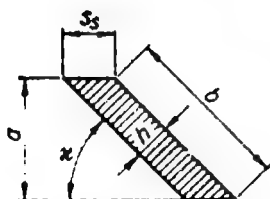
الشكل 412b التفريز الجبهي



الشكل 412a التفريز السطحي (بالدخل)

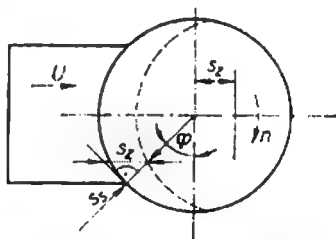
الشكل 412 أنواع التفريز

التفريز الجبهي Weilenmann



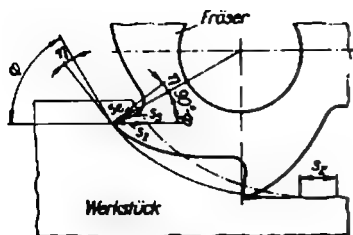
الشكل 414 مقطع الرايش

عند التفريز الجبهي

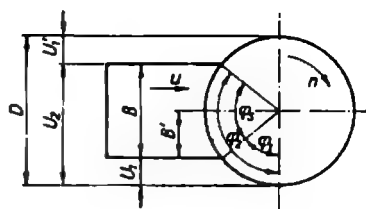


الشكل 413 نسب القطع

عند التفريز الجبهي



الشكل 416 انسحاب السن  $s_z$   
انسحاب القطع  $s_e$  وانسحاب التأثير  $s_e$   
أثناء التفريز المتعاكس



الشكل 415، قيم الزاوية والحسابات عند  
التفريز الجبهي

حسب الأشكال 412 ... 416 يكون

$$v = \frac{\pi D n}{1000}$$

$$b = \frac{a}{\sin \chi}$$

$$h = s_e \sin \chi$$

$$u = s_z z n$$

سرعة الانزلاق (السحب) الأولى مقاسة بالوحدة  
mm/min

$z$  عدد أسنان سكين التفريز

$s_z$  الانسحاب لكل سن فرز مقاس بالوحدة mm  
لكل سن

$$s_e \approx s_z \sin \varphi$$

انسحاب القطع مقاس بالوحدة mm

$\varphi$  زاوية اتجاه الانسحاب

$$\cos \varphi_1 = 1 - \frac{2U_1}{D}$$

$\varphi_1$  زاوية اتجاه الانسحاب ببداية القطع

$$\cos \varphi_2 = 1 - \frac{2U_2}{D}$$

$\varphi_2$  زاوية اتجاه الانسحاب بنهاية القطع

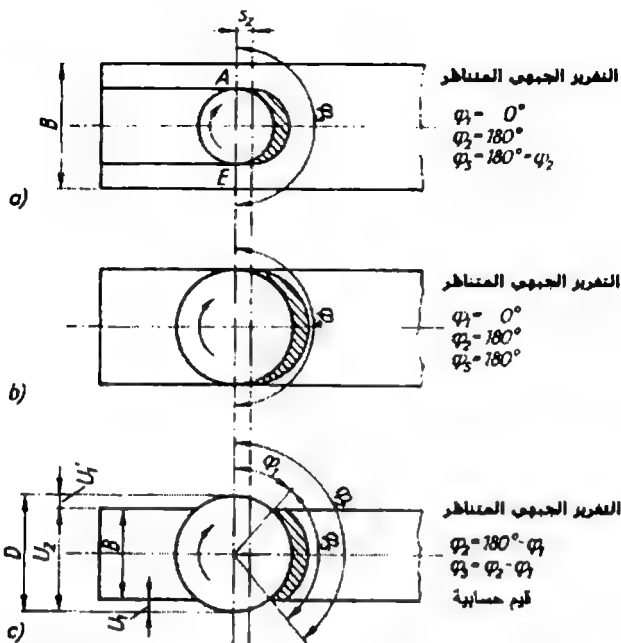
$$\varphi_s = \varphi_2 - \varphi_1$$

$\varphi_s$  زاوية قوس القطع

$$h_m = \frac{114.6}{\varphi_s^0} s_z \sin \chi \frac{B}{D}$$

سماحة الرايش الوسطي مقاسة بالوحدة mm

إن علاقات القياس للفرز الجبهي والوسط الخارجي ينتج من الأشكال التالية:



الشكل (417) قطر سكين التفريز وعرض قطع الأداة، موقع وسط سكين التفريز

$$F_{smz} = b h_m k_s K_y K_v K_{ver}$$

قوة القطع الوسطية لكل سن مقاسة

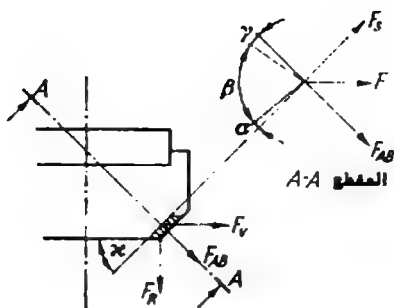
بالواحدة N

$$K_{ver} = 1.2 \dots 1.4; k_s, k_y, k_v$$

انظر العلاقات الأساسية

$$z_{iE} = \frac{z \varphi_s^0}{360^\circ}$$

عدد مرات القطع، المصادفة أثناء القطع (ولا دورة)



الشكل 418 قوى القطع في الفрез الجهبي

$$P_s = F_{smz} \cdot v \cdot Z_{IE}$$

استطاعة القطع مقاسة بالوحدة kW

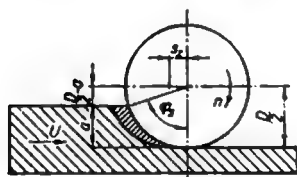
v مقاسة بالوحدة m/s

$$P_A = \frac{P_s}{\eta}$$

استطاعة التشغيل مقاسة بالوحدة kW

$$\eta = 0.6 \dots 0.8$$

### التفريز الاسطواني



الشكل 419 نسب التغذية عند التفريز الاسطواني

باستخدام العلاقات العادية:

$$\varphi_1 = 0^\circ; \varphi_s = \varphi_2; \sin \chi = 1;$$

b = B عرض الرايش يساوي عرض القطع

انظر العلاقات الأساسية  $K_v, K_\gamma, K_s$ ،  $K_{ver} = 1.2 \dots 1.4$

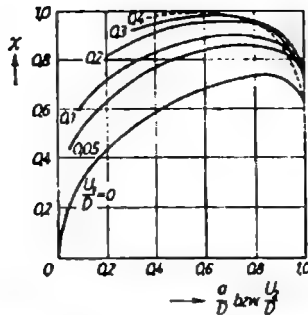
$$h_m = \frac{114.6^\circ}{\varphi_s^0} s_z \frac{a}{D}$$

سمائة الرايش الوسطي مقاسة بالوحدة mm

(الشكل (420)  $(h_m = \chi s_z)$

$$\cos \varphi_s = 1 - \frac{2a}{D}$$

زاوية قوس القطع مقاسة بالدرجة.



الشكل 420 مخطط لإيجاد سماكة الرايش الوسطي

المنحني  $\frac{U_1}{D} = 0$  للتفريز الاسطواني؛ المنحني  $\frac{U_2}{D}$  للتفريز الجبهي

$$F_{smz} = B h_m k_s K_\gamma K_v K_{ver}$$

قوة القطع الوسطية لكل سن من

سكين التفريز مقاسة بالوحدة N

$$* V = \frac{a B u}{1000}$$

B سماكة الأداة أو الفارزة

حجم الرايش مقاس بالوحدة  $\text{cm}^3/\text{min}$

$$V_s = \frac{6120}{k_s K_\gamma K_v K_{ver}}$$

u سرعة الانسحاب  $\text{mm}/\text{min}$

حجم الرايش النوعي مقاس بالوحدة

$\text{cm}^3/(\text{kW min})$

$$P_s = F_{smz} v Z_i E$$

استطاعة القطع بوحدة kW

$$P_s = \frac{V}{V_s}$$

v بوحدة  $\text{m}/\text{s}$

$$P_A = \frac{P_s}{\eta}$$

استطاعة التشغيل kW

$\eta = 0.6 \dots 0.8$

## 8.2.2 التجليخ، الصقل

تكون قوى التجليخ صغيرة نسبياً، وبشكل عام لا تحسب هذه القوى، لأن هناك عوامل تأثير كثيرة يجب أخذها بعين الاعتبار.

$$* F_s = \frac{\tau_0 a s v_w}{60 v_s}$$

صيغ التقريب لقوة التجليخ مقاسة بالوحدة N

$\tau_0$  متانة القص مقاسة بالوحدة  $N/mm^2$

a التوزيع mm

s الانزياح الطولي mm/U

$v_s$  السرعة المحيطية للجسم المخلوخ

$v_w$  السرعة المحيطية للأداة

$$P_s = F_s v_s$$

استطاعة القطع kW

$$P_A = \frac{P_s}{\eta}$$

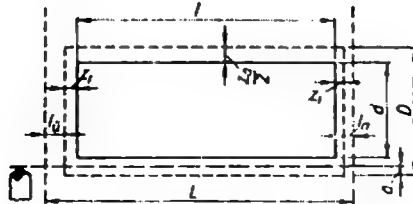
استطاعة التشغيل kW

$$\eta \approx 0.4 \dots 0.5$$

## 3.2 حساب الزمن الأساسي للآلة $t_{Gm}$ ب min (الزمن الرئيسي)

### 1.3.2 الخراطة

الخراطة الطولية



الشكل 421 نسب المسافة عند الخراطة الطولية

$$* t_{Gm} = \frac{\pi L D i}{1000 s v} = \frac{L}{n s}$$

$$D = d + 2Z_a$$

مميزات القياس (انظر الشكل 421)

s الانزياح مقاس بالوحدة mm/U

$Z_a$  إعادة المعالجة

$$t_{Gm} = \frac{L i}{n s} = \frac{L i}{u}$$

n عدد الدورات مقاسة بالوحدة U/min

$i_a + i_u$  مسافة البداية والمسير

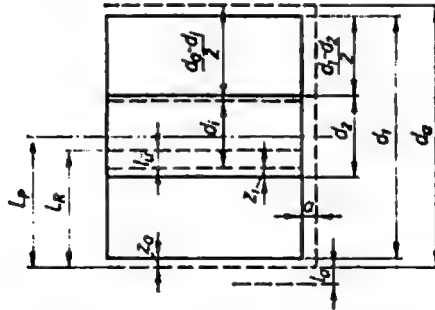
i عدد مرات القطع

$Z_i$  إعادة المعالجة

l طول قطعة الأداة (القياس النهائي)

$$L = l + 2Z_l + i_a + i_u \text{ مسافة الخراطة مقاسة بالوحدة mm}$$

(n = const) الخراطة السطحية



الشكل 422 نسب المسافة في الخراطة السطحية

$$t_{Gm} = \frac{L i}{n s}$$

علاقات القياس (انظر الشكل 422)

$$L_R = i_a + i_u \frac{d_a + d_i}{2}$$

مسافة الأداة مقاسة بالوحدة mm

المساحة الكلية - علاقات القياس (انظر الشكل 422)

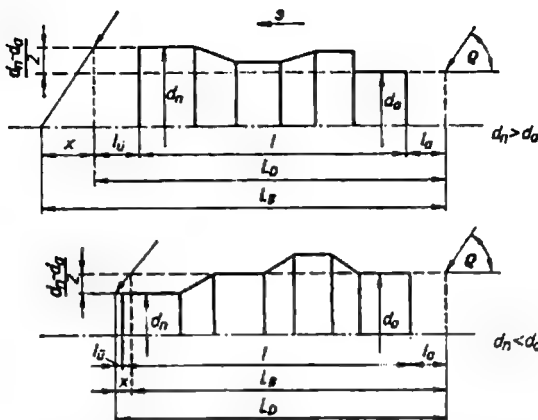


$$t_{Gm} = \frac{L_R i}{ns};$$

$$L_p = l_a + \frac{d_a}{2}$$

مسافة الأداة مقاسة بالوحدة mm

الخراطة الطولية حسب الشكل



الشكل 423 نسب المسافة أثناء الخراطة الطولية حسب الشكل

مع تغذية مائلة لأداة الخراطة، حيث  $n_D$  و  $s$  ثوابت

$$x = \frac{d_n + d_a}{2 \tan \rho}$$

شرط أن تقاس المسافة بالوحدة mm، خلال  
الوضع المائل لأداة الخراطة (إطالة أو تقصير)

$\rho$  وضع مائل لأداة الخراطة ( $55^\circ$ )

$$t_{Gm} = \frac{L_B i}{sn} = \frac{i(L_D + x)}{sn}$$

علاقات القياس انظر الشكل 423

$$s_t = s \frac{\sin \rho}{\sin(\rho + \alpha)}$$

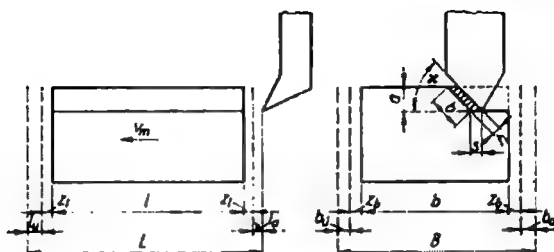
تغير الانزياح (mm/U)

زاوية مخروط  
منصفة

$\alpha$  موجبة عند الصعود  
 $\alpha$  سالبة عند الهبوط

أثناء رفع أو تخفيض الانزياح الأولي وعند أقطار مختلفة للأداة مع عدد دورات متغيرة لرأس الخراطة أثناء عملية الخراطة يجب أن تحسب  $t_{Gm}$  على شكل خطوات من القيم التابعة لها.

### 2.3.2 القشط والصدم



الشكل 424 طرق العمل عند القشط والصدم

$$L = l + 2z_l + L_a + l_u$$

$$l_a = l_u = 100 \dots 600 \text{ mm}$$

$$B = b + 2z_b + b_a + b_u$$

$$b_a = b_u = 3 \dots 6 \text{ mm}$$

$z_l$  و  $z_b$  إضافات المعالجة لعرض أو طول المشفرة

$$*n_{DH} = \frac{v_m}{2L}$$

شوط مضاعف لكل دقيقة

$v_m$  السرعة الوسطية مقاسة بالوحدة m/min

$$*t_{Gm} = \frac{Bi}{sn_{DH}}$$

القشط

s الانسحاب مقاس بالوحدة mm/DH

$$*t_{Gm} = \frac{2H_h L_w i}{sv_m}$$

صدم عزقة

$L_N = a + b_a$  عمق العزقة مقاس بالوحدة mm

بمسافة الدوران

a طول العزقة mm

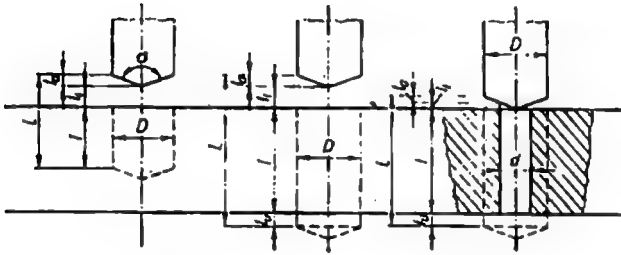
$H_h$  عمق العزقة مقياس بالواحدة mm وما يتبعه

بمسافة الدوران وزيادته

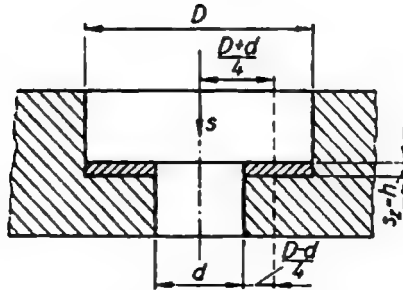
$$b_a = b_u = 1.5 \dots 3 \text{ mm}$$

$$l_a = l_u = 10 \dots 50 \text{ mm}$$

### 3.3.2 الثقب والإنزال



الشكل 425 طرق العمل عند الثقب



الشكل 426 معطيات قيم للإنزال

### طرق العمل أثناء الثقب

$$l_a = \frac{D}{2 \tan \frac{\sigma}{2}}$$

معطيات الطول لرأس المثقب بمقاس بالواحدة mm

$l_a \approx 0.3 D$  من أجل  $\sigma = 112^\circ$  عند الثقب بكامل الأداة

$$l_a = \frac{D}{2 \tan \frac{\sigma}{2}}$$

عند الثقب والإنزال  $l_a = l_u = 0$  عند الثقب والإنزال للرأس والعنق المنزل

$$l_e + l_u = 0 \text{ من أجل الحك}$$

$$L = l + l_a + l_u$$

مسافة الثقب الكلية مقاس بالواحدة mm

علاقات القياس (انظر الشكل 425)

$$t_{Gm} = \frac{Li}{ns}$$

$l_e \approx l_u$  (بشكل عام 3 mm ... 1)

$l_u = 0$  عند عملية الثقب الأساسي

### 4.3.2 التفريغ (التجفيف)

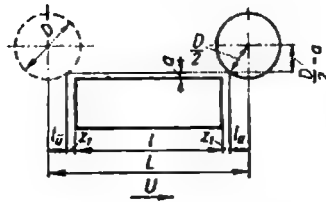
$$* t_{Gm} = \frac{Hi}{v}$$

H الشوط المعين للآلة مقاسة بالواحدة mm

v مقاسة بالواحدة m/min

### 5.3.2 التفريغ

#### التفريغ الاسطواني



الشكل 427 طول الفزة عند التفريغ الاسطواني

$$l_a = 1.5 + \sqrt{a(D - a)}$$

مسافة بداية الدوران مقاسة بالوحدة mm

$$l_u = 1.5 \text{ mm}$$

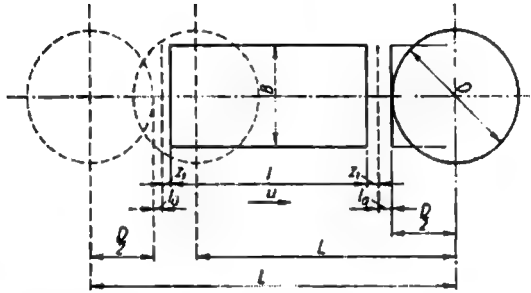
$$L = l + 2z_1 + l_a + l_u$$

طول الفُرزة بوحدة mm (علاقات القياس انظر الشكل)

$z_1$  معطيات المعالجة للطرف الجبهي

$a$  عمق القطع مقاس بالوحدة mm

التفريز الجبهي



الشكل 428 طول الفرز عند التفريز الوسطي الجبهي

$$l_a = 1.5 \text{ mm} + \frac{D}{2} \cdot 0.5 \sqrt{D^2 - B^2}$$

$$l_u = 1.5 \text{ mm}$$

من أجل التفريز الوسطي الجبهي الخارجي (محور الفارزة ضمن سطح الأداة)

$$l_a = 1.5 \text{ mm} + \frac{D}{2} \sqrt{\frac{D}{2}^2 - B^2}$$

$$t_u = 1.5 \text{ mm}$$

نطبق بشكل عام

$$l_a = l_u; l_a = 1.5 \text{ mm} + \frac{D}{2}; l_a + l_u = 3 \text{ mm} + D$$

الزمن الأساسي للتفريز الجبهي والاسطواناني

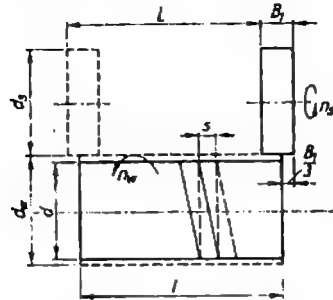
$$t_{Gm} = \frac{Li}{u}$$

$u$  سرعة الانسحاب مقاسة بالوحدة mm/min

### 6.3.2 التجليط

#### التجليط الطولي

#### التجليط الداخلي والخارجي الدائري



الشكل 429 مسافة التجليط عند التجليط الدائري الخارجي

$$v_s = \pi n_s d_s$$

السرعة المحيطية للجسم المخلوخ

$d_s$  مقاس بالواحدة mm؛  $n_s$  مقاسة بالواحدة m/s

$v_s \approx 25 \dots 30$  m/s (غالباً تعطى من المنتج)

$$q = \frac{v_s}{v_w}$$

نسبة السرعة بين صفيحة التجليط والأداة

$q \approx 120$  للفولاذ (مخلوخ)

$q = 100$  للغرافيت GG (مخلوخ)

تجليط طبقي  $2q \approx$

تجليط ناعم  $4q \approx$

(تتبع عملية التجليط ونوع تغذية صفيحة التجليط)

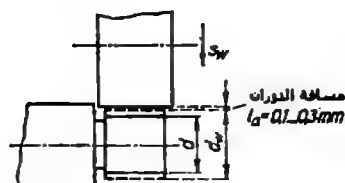
$v_w$  السرعة المحيطية للأداة m/min

$$n_w = \frac{v_w}{\pi d_w}$$

عدد دورات الأداة U/min

$i = \frac{d_a - d_w}{2a}$	$d_w$ قطر الأداة مقياس بالواحدة mm عدد الأشواط عند التحليخ الخارجي
	$d_a$ قطر الأنبوب mm
	$d_w$ القطر المجلخ مقياس بالواحدة mm
$i = \frac{d_w - d_t}{2a}$	$a$ التوزيع mm عدد الأشواط عند التحليخ الداخلي
	$d_w$ القطر المجلخ مقياس بالواحدة mm
$L = l \frac{1}{3} B_l$	$d_l$ قطر الأنبوب المثقوب مقياس بالواحدة mm مسافة التحليخ مقاسة بالواحدة mm
	$l$ طول الأداة مقاسة بالواحدة mm
	$B_l$ عرض قرص التحليخ mm
	التغذية
$a \approx 0.01 \dots 0.03 \text{ mm}$	تجليخ للفولاذ
$a \approx 0.003 \dots 0.005 \text{ mm}$	تجليخ طبقي للفولاذ
$a \approx 0.05 \dots 0.08 \text{ mm}$	تجليخ للغرافيت
$a \approx 0.005 \dots 0.03 \text{ mm}$	تجليخ طبقي للغرافيت
	الانسحاب الطويل لكل دورة للأداة مقياس بالواحدة mm/U
$M_1, B_2, A_l$ للتحليخ الفولاذ	$s_w = (0.04 \dots 0.7) B_l$
$M_1, B_2, A_l$ للتحليخ الطبقي للفولاذ	$s_w = (0.2 \dots 0.4) B_l$
للتجليخ لمادة الغرافيت	$s_w = (0.6 \dots 0.8) B_l$
للتجليخ الطبقي لمادة الغرافيت	$s_w = (0.2 \dots 0.5) B_l$
$t_{Gm} = \frac{L i}{s_w n_w}$	

## التجليخ عن طريق اللدغ



الشكل 430 مسافة التجليخ عند التجليخ عن طريق اللدغ

$$L = \frac{z}{2} + l_a$$

إعادة إضافة المادة مقاسة بالوحدة mm

$l_a$  مسافة الدوران ( $\approx 0.1 \dots 0.3 \text{ mm}$ )

$$l_{Gm} = \frac{L}{s_w n_w}$$

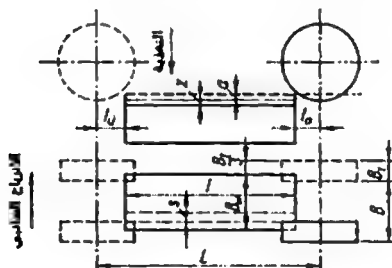
$$\frac{1}{\text{min}}$$

$s_w$  الانسحاب القطري لكل دورة للأداة بوحدة

$$s_w = 0.02 \dots 0.008 \frac{1}{\text{min}}$$

## تجليخ السطوح

تجليخ السطوح مع محيط جسم التجليخ



الشكل 431، مسافة التجليخ عند تجليخ السطوح مع محيط جسم التجليخ

$$L = l + l_a + l_u$$

طول الشوط مقاس بالوحدة mm

$$l_a = l_u = 15 \dots 30 \text{ mm}$$



$$B = B_w - \frac{1}{3} B_l$$

مسافة التجليخ مقاسة بالواحدة mm  
(مسافة التوصيل باتجاه عرض الأداة)

$$n_{DH} = \frac{v_w}{2L}$$

عدد الشوط المضاعف  $\left( \frac{1}{\min} \right) (DH)$

$$q = \frac{v_s}{v_w}$$

$q \approx 30$  للفرانيت و  $q \approx 80$  للفولاذ  
 $v_w$  سرعة الأداة باتجاه الشوط m/s

سرعة ما قبل الانزياح

$v_s$  السرعة المحيطية لجسم التجليخ m/s

$$i = \frac{z}{a}$$

عدد المقاطع (التغذية)

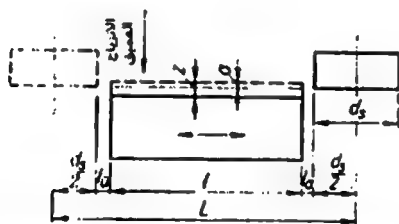
$z$  إضافة المعالجة مقاسة بالواحدة mm

$a$  التغذية لكل قصة مقاسة بالواحدة mm

$$t_{Gm} = \frac{Bi}{n_{DH}s}$$

$s$  الانسحاب الجانبي مقاس بالواحدة mm

تجليخ السطوح في السطح الجبهي للجسم المجلوخ



الشكل 432 مسافة التجليخ عند تجليخ السطوح بمحيط جسم جبهي للجسم المجلوخ

جسم المجلوخ يقبض على العرض الكلي لأداة العمل

$$L = d_s + l + l_a + l_u$$

طول الشوط مقاس بالواحدة mm

$d_s$  قطر الجسم المجلوخ مقاس بالواحدة mm

$$l_a = l_u \cdot 15 \dots 25 \text{ mm}$$

$$t_{Gm} = \frac{z}{an_{DH}}$$

z معطيات المعالجة مقاسة بالواحدة mm

a التغذية لكل شوط مضاعف DH مقاسة  
بالواحدة mm













---

## جداول ومخططات

---

التوصيلات المركبة 1

التوصيل	كلية المقادير	كلية المقادير	معادير	معادير المقادير	كلية المقادير	معادير المقادير
	$R$	$R$	0	$\frac{1}{R}$	$\frac{1}{R} = 0$	0
	$R$	$R$	$\frac{1}{R} = 0$ $\frac{1}{R} = 0$ $\frac{1}{R} = 0$	$\frac{1}{R}$	$\frac{1}{R} = 0$	$\frac{1}{R} = 0$ $\frac{1}{R} = 0$ $\frac{1}{R} = 0$
	$R$	$R$	$\frac{1}{R} = 0$ $\frac{1}{R} = 0$ $\frac{1}{R} = 0$	$\frac{1}{R}$	$\frac{1}{R} = 0$	$\frac{1}{R} = 0$ $\frac{1}{R} = 0$ $\frac{1}{R} = 0$
	$R$	$R$	$\frac{1}{R} = 0$ $\frac{1}{R} = 0$ $\frac{1}{R} = 0$	$\frac{1}{R}$	$\frac{1}{R} = 0$	$\frac{1}{R} = 0$ $\frac{1}{R} = 0$ $\frac{1}{R} = 0$
	$R$	$R$	$\frac{1}{R} = 0$ $\frac{1}{R} = 0$ $\frac{1}{R} = 0$	$\frac{1}{R}$	$\frac{1}{R} = 0$	$\frac{1}{R} = 0$ $\frac{1}{R} = 0$ $\frac{1}{R} = 0$
	$R$	$R$	$\frac{1}{R} = 0$ $\frac{1}{R} = 0$ $\frac{1}{R} = 0$	$\frac{1}{R}$	$\frac{1}{R} = 0$	$\frac{1}{R} = 0$ $\frac{1}{R} = 0$ $\frac{1}{R} = 0$
	$R$	$R$	$\frac{1}{R} = 0$ $\frac{1}{R} = 0$ $\frac{1}{R} = 0$	$\frac{1}{R}$	$\frac{1}{R} = 0$	$\frac{1}{R} = 0$ $\frac{1}{R} = 0$ $\frac{1}{R} = 0$
	$R$	$R$	$\frac{1}{R} = 0$ $\frac{1}{R} = 0$ $\frac{1}{R} = 0$	$\frac{1}{R}$	$\frac{1}{R} = 0$	$\frac{1}{R} = 0$ $\frac{1}{R} = 0$ $\frac{1}{R} = 0$
	$R$	$R$	$\frac{1}{R} = 0$ $\frac{1}{R} = 0$ $\frac{1}{R} = 0$	$\frac{1}{R}$	$\frac{1}{R} = 0$	$\frac{1}{R} = 0$ $\frac{1}{R} = 0$ $\frac{1}{R} = 0$
	$R$	$R$	$\frac{1}{R} = 0$ $\frac{1}{R} = 0$ $\frac{1}{R} = 0$	$\frac{1}{R}$	$\frac{1}{R} = 0$	$\frac{1}{R} = 0$ $\frac{1}{R} = 0$ $\frac{1}{R} = 0$

# تركيب التوسيلات II

الدوائر	المشكل الأول $\frac{Z}{Z}$	القيمة المقابلة $\frac{Z}{Z}$	مع $\rho$ شعاع القطر مكافئ شعاع القطر مثالي حالة $\rho$	المشكل الأول $\frac{Z}{Z}$	القيمة المقابلة $\frac{Z}{Z}$	مع $\rho$ شعاع القطر مكافئ شعاع القطر مثالي حالة $\rho$
	$\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$	$\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$	0	$\frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2}$	$\frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2} = C$	0
	$\frac{R_1 L_1}{L_1 + L_1}$	$\frac{R_1 L_1}{L_1 + L_1}$	$+\infty$	$-) \frac{L_1 + L_1}{R_1 L_1}$	$\frac{L_1 + L_1}{R_1 L_1} = R_1$	$-\infty$
	$-) \frac{1}{R_1 (C_1 + C_2)}$	$\frac{1}{R_1 (C_1 + C_2)}$	$-\infty$	$+ R_1 (C_1 + C_2)$	$R_1 (C_1 + C_2) = R_1 C$	$+\infty$
	$\frac{R_1 L_1 C_1}{R_1 + (R_1 L_1 C_1)^2}$	$\frac{R_1 C_1}{R_1 + (R_1 L_1 C_1)^2}$	$+\frac{R_1}{R_1 C_1}$	$\frac{R_1 - (R_1 L_1 C_1)^2}{R_1 L_1 C_1}$	$\frac{R_1 L_1 C_1}{R_1 L_1 C_1}$	$-\frac{R_1}{R_1 C_1}$
	$\frac{R_1}{1 + (R_1 L_1 C_1)^2} - ) \frac{R_1 C_1}{1 + (R_1 L_1 C_1)^2}$	$\frac{R_1}{1 + (R_1 L_1 C_1)^2}$	$- R_1 C_1$	$\frac{1 + (R_1 L_1 C_1)^2}{R_1}$	$\frac{1 + (R_1 L_1 C_1)^2}{R_1}$	$+ R_1 C_1$
	$+\frac{R_1}{1 + (R_1 L_1 C_1)^2}$	$\frac{R_1}{1 + (R_1 L_1 C_1)^2}$	مكافئ $(R_1 L_1 C_1 < 1) + \infty$ $(R_1 L_1 C_1 > 1) - \infty$	$-\frac{1 - (R_1 L_1 C_1)^2}{R_1}$	$\frac{1 - (R_1 L_1 C_1)^2}{R_1}$	$-\infty$ $(R_1 L_1 C_1 < 1) \text{ مكافئ}$ $+\infty$ $(R_1 L_1 C_1 > 1) \text{ مكافئ}$
	$-\frac{1}{\left(\frac{1}{R_1}\right)^2 + \left(R_1 C_1 - \frac{1}{R_1}\right)^2}$	$\frac{1}{\left(\frac{1}{R_1}\right)^2 + \left(R_1 C_1 - \frac{1}{R_1}\right)^2}$	$-R_1 \left(R_1 C_1 - \frac{1}{R_1}\right)$	$+\frac{1}{\left(\frac{1}{R_1}\right)^2 + \left(R_1 C_1 - \frac{1}{R_1}\right)^2}$	$\frac{1}{\left(\frac{1}{R_1}\right)^2 + \left(R_1 C_1 - \frac{1}{R_1}\right)^2}$	$R_1 \left(R_1 C_1 - \frac{1}{R_1}\right)$

### تركيب التوصيلات III

التوصيلة	الشكل الرمزي $\underline{Z}$	القيمة المطلقة $Z$	$\cos \phi$ ضعاف الجهد عكس ضعاف التيار حول $\phi$ مدبر
	$R_2 + \frac{R_1(\omega L_1)^2}{R_1^2 + (\omega L_1)^2} + j \frac{R_1^2 \omega L_1}{R_1^2 + (\omega L_1)^2}$	$\sqrt{R_{1,s}^2 + X_{1,s}^2}$	$+\frac{X'_{1,s}}{R_{1,s}}$
	$\frac{R_1(\omega L_2)^2}{R_1^2 + (\omega L_2)^2} + j \left[ \frac{R_1^2 \omega L_2}{R_1^2 + (\omega L_2)^2} + \omega L_2 \right]$	$\sqrt{R_{1,s}^2 + X_{1,s}^2}$	$+\frac{X_{1,s}}{R_{1,s}}$
	$\frac{R_1(\omega L_1)^2}{R_1^2 + (\omega L_1)^2} + j \left[ \frac{R_1^2 \omega L_1}{R_1^2 + (\omega L_1)^2} - \frac{1}{\omega C_2} \right]$	$\sqrt{R_{1,s}^2 + X_{1,s}^2}$	$\pm \frac{X_{1,s}}{R_{1,s}}$
	$\left[ \frac{R_2}{1 + (R_1 \omega C_1)^2} + R_2 \right] - j \frac{R_1^2 \omega C_1}{1 + (R_1 \omega C_1)^2}$	$\sqrt{R_{1,s}^2 + X_{1,s}^2}$	$-\frac{X'_{1,s}}{R_{1,s}}$
	$\frac{R_2}{1 + (R_1 \omega C_1)^2} + j \left[ \omega L_2 - \frac{R_1^2 \omega C_1}{1 + (R_1 \omega C_1)^2} \right]$	$\sqrt{R_{1,s}^2 + X_{1,s}^2}$	$\pm \frac{X_{1,s}}{R_{1,s}}$
	$\frac{R_1}{1 + (R_1 \omega C_1)^2} + j \left[ \frac{R_1^2 \omega C_1}{1 + (R_1 \omega C_1)^2} + \frac{1}{\omega C_2} \right]$	$\sqrt{R_{1,s}^2 + X_{1,s}^2}$	$-\frac{X_{1,s}}{R_{1,s}}$
	$R_2 + j \frac{\omega L_1}{1 - \omega^2 L_1 C_1}$	$\sqrt{R_{1,s}^2 + \left( \frac{\omega L_1}{1 - \omega^2 L_1 C_1} \right)^2}$	$+\frac{\omega L_1}{R_{1,s}(1 - \omega^2 L_1 C_1)}$
	$j \left[ \frac{\omega L_2}{1 - \omega^2 L_1 C_1} + \omega L_2 \right]$	$\frac{\omega L_2}{1 - \omega^2 L_1 C_1} + \omega L_2$	$\pm \infty$
	$j \left[ \frac{\omega L_2}{1 - \omega^2 L_1 C_1} - \frac{1}{\omega C_2} \right]$	$\frac{\omega L_2}{1 - \omega^2 L_1 C_1} - \frac{1}{\omega C_2}$	$\mp \infty$
	$R_p = \frac{R_n^2 + X_n^2}{R_n}; \quad X_p = \frac{R_n^2 + X_n^2}{X_n}$		
	$R_n = \frac{X_p^2 R_p}{R_p^2 + X_p^2}; \quad X_n = \frac{R_p^2 X_p}{R_p^2 + X_p^2}$		

المخططات البهائية  
لتوصيلات المركبة I و II

الوصل على التسلسل المخطط النسبي	التيار	الوصل على التوازي المخطط النسبي	الجهد









# جدول المحتويات

7	المقادير والواحدات
7	المقادير الفيزيائية
8	المعادلات
9	1. نظام الواحدات العالمية (SI)
10	1.1 الواحدات القياسية (النظامية)
11	2.1 استخدام الواحدات الغريبة عن SI
11	3.1 تحويلات الواحدات
13	4.1 جدول لأهم الواحدات
26	2. علم الحساب والجبر الخطي
26	1.2 المجموعات
27	2.2 المنطابقات الشهيرة
28	3.2 القوى
29	4.2 الجذور
29	5.2 اللوغاريتمات
31	6.2 الأعداد العقدية
32	7.2 السلاسل
32	1.7.2 السلاسل العددية
33	2.7.2 السلاسل الهندسية
33	8.2 المعينات
37	9.2 المصفوفات
39	10.2 الأشعة (المتجهات)

3. التوابع والمعادلات 43
- 1.3 التوابع الجبرية 43
- 2.3 التوابع المتسامية 44
- 3.3 حل المعادلات 46
4. الهندسة 49
- 1.4 الهندسة المستوية 49
- 1.1.4 السطوح (المساحة A، المحيط U، مركز الثقل S) 49
- 2.1.4 الزوايا 52
- 3.1.4 قوانين الأشعة، التشابه 53
- 4.2 الهندسة الفراغية (حجوم و سطوح الأجسام) 54
- 3.4 الهندسة المستوية 59
- 1.3.4 علاقات الهندسة المستوية في المثلث القائم الزاوية 59
- 2.3.4 إرجاع الزوايا إلى الربع الأول 61
- 3.3.4 العلاقات المثلثية في المثلث العام 62
- 4.2.4 تابع الجيب 63
- 5.3.4 نظريات الجمع 64
- 6.3.4 التوابع المثلثية العكسية: (الشكلين 58 و 59) 65
5. الهندسة التحليلية 66
- 1.5 المستقيم، المسافة 66
- 2.5 المثلث (الشكل 63) 67
- 3.5 الدائرة (الشكل 64) 67
- 4.5 القطع المكافئ (الشكل 65) 67
- 5.5 القطع الناقص والرائد 68
- 6.5 المعادلة العامة لمقاطع المخروط الانمحابي المتوازي 70
6. حساب التفاضل 71

71	القيم المحددة	1.6
71	نسب التفاضل	2.6
71	نسب التفاضل (الاشتقاق)	3.6
72	قواعد الاشتقاق	4.6
72	اشتقاق التوابع الأساسية المشتق	5.6
74	فحص المنحنيات	6.6
75	المشتقات الجزئية	7.6
75	حساب الأخطاء (الارتياح)	8.6
76	حساب التكامل	7.
76	التكامل غير المحدد	1.7
77	التكامل الجزئي	2.7
78	التكامل المحدد	3.7
79	قواعد التكامل	4.7
80	التكاملات الأساسية	5.7
81	عملية التكامل	6.7
82	تكاملات خاصة	7.7
86	التكامل من خلال التقريب (التكامل العددي)	8.7
86	تطبيقات في حساب التكامل	9.7
89	السلاسل اللانهائية	8.
89	السلاسل الأسية	1.8
91	سلاسل Fourier	2.8
95	المعادلات التفاضلية	9.
95	المعادلة التفاضلية من الدرجة الأولى	1.9
96	المعادلات التفاضلية الخطية من الدرجة الأولى والثانية	2.9

99 الرياضيات

102 تمثيل بحريات البرنامج

105 الفيزياء

105 1. الحركة

105 1.1 الحركة الانسحابية (الانتقالية)

107 2.1 السقوط والقذف

109 3.1 الحركة الدورانية

111 2. القوانين الأساسية في الديناميك

112 1.2 الحركة الانسحابية

113 2.2 الحركة الدورانية

115 3. الاهتزازات والموجات

116 1.3 الاهتزازات التوافقية (الحرة، غير المتخامدة)

116 2.3 الاهتزاز المرن

117 3.3 اهتزاز النواس

118 4.3 الاهتزاز التوافقي المتخامد

118 5.3 الموجات

118 4. ميكانيك الموائع (الميكانيك الهيدروليكي)

119 1.4 الموائع الساكنة

120 4.2 الموائع المتحركة (المتدفقة)

123 5. علم الحرارة

123 1.5 تمدد الأجسام الصلبة

125 2.5 الطاقة الحرارية

130 6. علم الصوتيات

130 1.6 سرعة الصوت c

131	2.6	أثر Doppler
132	3.6	قيم الحقل الصوتي
134	7.	البصريات
134	1.7	المرايا والعدسات
136	2.7	الأجهزة البصرية
137	3.7	هندسة الإضاءة
138	8.	الفيزياء الذرية
139	1.8	الجزئيات الأولية الهامة
139	2.8	بنية الذرة
140	1.2.8	مقادير وكتلة الذرة
141	2.2.8	الكتلة والطاقة
141	3.8	النشاط الإشعاعي

## الميكانيك الهندسي

145	1.	توازن الأجسام الصلبة
145	1.1	القوى في نظام مركزي مستوي
145	1.1.1	التأثير المشترك لقوتين (محصلة قوتين)
146	2.1.1	محصلة عدة قوى
147	2.1	تركيب قوى في نظام قوى مستوية عام
147	1.2.1	عزم قوة بالنسبة لنقطة O
148	2.2.1	عزم عدة قوى
148	3.2.1	محصلة قوى عشوائية في المستوي
149	4.2.1	تحليل قوة وفق ثلاث اتجاهات معطاة مسبقاً
150	3.1	توازن القوى
150	1.3.1	توازن القوى المستوية



- 3.2.1 توازن القوى الفراغية \_\_\_\_\_ 151
- 4.1 تحديد مركز الثقل \_\_\_\_\_ 152
- 1.4.1 مركز الثقل لخط متجانس \_\_\_\_\_ 152
- 2.4.1 مركز ثقل السطوح \_\_\_\_\_ 153
- 5.1 ردود الأفعال في المساند \_\_\_\_\_ 156
- 1.5.1 ردود أفعال المساند في الجوائز المقررة ستاتيكيًا \_\_\_\_\_ 156
- 2.5.1 ردود أفعال المساند في الجوائز غير المقررة ستاتيكيًا \_\_\_\_\_ 157
- 6.1 ردود أفعال المقاطع في الجوائز \_\_\_\_\_ 158
- 1.7 تحديد قوى القضبان في الجوائز الشبكية المستوية \_\_\_\_\_ 160
- 1.7.1 بطريقة محطوط القوى محطوط (Cremon) \_\_\_\_\_ 160
- 2.7.1 طريقة المقاطع بطريقة Ritter (الشكل 139) \_\_\_\_\_ 161
- 3.7.1 طريقة نقطة المقد (مقطع دائري) \_\_\_\_\_ 161
- 1.8 الاحتكاك \_\_\_\_\_ 162
- 9.1 البكرات وأنواعها \_\_\_\_\_ 167
2. التحريك \_\_\_\_\_ 168
- 1.2 الحركة الانتقالية - مبدأ d'Alembert \_\_\_\_\_ 168
- 2.2 الحركة الدورانية حول محور ثابت (الشكل 162) \_\_\_\_\_ 171
- 3.2 عزوم العطالة الكتلية \_\_\_\_\_ 172
- 2.4 الحركة العامة - الحركة الانتقالية والدورانية \_\_\_\_\_ 174
3. علم مقاومة المواد \_\_\_\_\_ 177
- 1.3 مصطلحات أساسية \_\_\_\_\_ 177
- 1.1.3 الإجهادات الحدية (انظر الشكل 173) \_\_\_\_\_ 177
- 2.1.3 الإجهادات والانفعالات أثناء الشد والضغط \_\_\_\_\_ 178
- 3.1.3 الإجهادات والانفعالات أثناء الانسحاب \_\_\_\_\_ 179
- 4.1.3 الإجهادات المسموح بها \_\_\_\_\_ 180

180	5.1.3 الأمان
181	6.1.3 المقاومة الدائمة
183	2.3 إجهادات الضغط والشد وحيدة المحور
184	3.3 ضغط السطوح
184	3.4 مقاومة القص
185	5.3 الانعطاف
185	1.5.3 انعطاف الجوائز المستقيمة
191	2.5.3 الانعطاف ثنائي المحور - الانعطاف المائل
194	3.5.3 الجوائز ذات إجهاد الانعطاف المتساوي
195	4.5.3 تغيرات شكل الجوائز المنعطفة (المجهدة بالانعطاف)
196	5.3 عزم وتدلي الانعطاف للجوائز ثابتة المقطع
196	6.5.3 إجهادات الانسحاب أثناء الانعطاف
198	6.3 إجهاد الفتل للقضبان الهرمية
198	1.6.3 قضبان الفتل ذات المقطع الدائري
207	2.6.3 قضبان الفتل ذات المقطع غير الدائري
209	7.3 التحنيب
211	1.7.3 التحنيب المرن حسب Euler،
211	2.7.3 التحنيب غير المرن حسب Tetmajer
212	3.7.3 طريقة Omega
212	3.8 المقاومة المركبة
212	1.8.3 الإجهادات ذات النوع المتماثل
214	2.8.3 الإجهادات غير المتماثلة - الإجهادات الناعمة والمماسية

217	علم الحرارة الهندسي
218	1. تعاريف أساسية
218	1.1 قيم الحالة الحرارية والواحدات
221	2.1 الحرارة والسعة الحرارية النوعية
224	3.1 معادلة الحالة الحرارية للغازات المثالية
225	4.1 عمل تغيير الحجم، العمل الهندسي، الطاقة الداخلية الانتالي،
225	الانتروبي، سحب الطاقة
227	2. مزج الغازات
229	1.2 مزج الغازات تحت حجم غاز ثابت
229	2.2 مزج الغازات المتدفقة
230	3. القانون الأساسي الأول في الترموديناميك
231	4. تغيرات الحالة للغازات المثالية
231	1.4 ثبوت الحجم، $V = \text{const}$ (الشكل 204)
231	4.2 بثبوت الضغط، $p = \text{const}$ (الشكل 205)
232	3.4 بثبوت درجة الحرارة (ايزوترم) $t = \text{const}$ (الشكل 206)
232	4.4 بثبوت كمية الحرارة $Q = 0$ ، $S = \text{const}$ (الشكل 207)
233	5.4 متعدد التغيرات (البوليتروبي)
235	5. القانون الأساسي الثاني في الترموديناميك
236	6. الدارات
3236	1.6 دائرة Carno (الشكل 211)
237	2.6 دائرة Otto المثالية
238	3.6 دائرة محركات Diesel المثالية
239	4.6 الدارة المثالية للعنفات الغازية
240	5.6 الدارة المثالية لآلات الهواء الساخن دائرة (Jol)
241	6.6 دائرة آلة التبريد

- 7.6 دائرة المضخة الحرارية (توليد الحرارة) 241
- 8.6 دائرة الضاغط 242
7. بخار الماء 243
8. الهواء الرطب 247
9. انتقال الحرارة 250
- 1.9 انتقال الحرارة بالحمل 250
- 2.9 انتقال الحرارة 252
- 3.9 انتقال الحرارة بالإشعاع 254
- 4.9 انتقال الحرارة بالإشعاع والحمل 254
- 5.9 النفوذ الحراري 255
- 6.9 المبادل الحراري 257

## 259 الهندسة الكهربائية

1. هندسة التيار المستمر العامة 259
- 1.1 قانون Ohm 260
- 2.1 قانون Kirchhoff 261
- 3.1 توصيل المقاومات ومنايع الجهد 262
- 4.1 توصيل الشبكات Kirchhoff 264
- 5.1 قياسات التيار المستمر 267
- 6.1 قياس المقاومة 267
- 7.1 قياس الاستطاعة من خلال قياس الجهد والتيار 269
2. الحقل المغناطيسي 270
- 1.2 قواعد المغنطة الكهربائية 270
- 2.2 تأثيرات الحقل المغناطيسي 273
- 3.2 التحريض الذاتي 274

- 277 4.2 طاقة الحقل المغناطيسي \_\_\_\_\_
- 279 3. الحقل الكهربائي \_\_\_\_\_
- 282 4. هندسة التوتر العالي \_\_\_\_\_
- 283 5. هندسة التيار المتناوب \_\_\_\_\_
- 284 1.5 التوصيل على التسلسل لـ R-L-C \_\_\_\_\_
- 287 2.5 التوصيل على التوازي لـ R-L-C \_\_\_\_\_
- 287 6. الإلكترونيات \_\_\_\_\_
- 294 7. الاستطاعات \_\_\_\_\_
- 298 8. المحولات (الشكل 286) \_\_\_\_\_

## 301 هندسة التحكم \_\_\_\_\_

- 301 1. الوصف \_\_\_\_\_
- 302 1.1 سمات عناصر النقل \_\_\_\_\_
- 304 2.1 سمات عناصر الانتقال أثناء التوصيل المتسلسل بانتظام \_\_\_\_\_
- 304 2. توصيلات عناصر الانتقال \_\_\_\_\_
- 305 3. قواعد الضبط (التعير) \_\_\_\_\_
- 306 4. بديهيات الاستقرار حسب Hurwitz \_\_\_\_\_
- 306 5. المنظمات الخطية الدائمة \_\_\_\_\_
- 309 6. المنظمات غير الدائمة \_\_\_\_\_
- 311 7. الإرجاع (الإعادة) \_\_\_\_\_
- 312 8. المنظم الدائري الخطي الدائم الحلقى \_\_\_\_\_
- 313 9. تحويلات Laplace \_\_\_\_\_
- 313 1.9 قواعد الحساب والتطابق \_\_\_\_\_

317	تصميم الآلات
317	المقدمة (المدخل)
324	1. براغي التثبيت
324	1.1 براغي الربط
325	1.1.1 البراغي المجهدة طولياً بدون إجهاد مسبق
326	2.1.1 البراغي المجهدة طولياً مع إجهاد مسبق
328	3.1.1 البراغي المجهدة عرضياً
329	2. براغي الحركة
330	3. الربط بالشرار والخوابير
330	1.3 الربط بالشرار
330	2.3 الربط بالخوابير
332	4. الروابط الأحكام للمحاور والصرة
332	1.4 نوابض الأحكام (الضغط)
332	2.4 المساقط الجانبية للمحاور والصرة
333	5. روابط الضغط
336	6. وصلات الربط بالبرشيم
337	7. النوابض
337	1.7 النوابض المجهدة بالانعطاف
338	2.7 النوابض المجهدة بالقتل
340	8. المحاور الثابتة والمحاور الدوارة
340	1.8 القوى وقوى ردود الأفعال (قوى المضاجع)
341	2.8 عزوم القتل والانعطاف
342	3.8 الإجهادات
343	4.8 متانة التشكيل والمتانة الدائمة
344	5.8 تغييرات الشكل

- 346 6.8 الاهتزازات
- 347 9. المضاجع الانزلاقية (المدرجات)
- 347 1.9 المضاجع الانزلاقية مع احتكاك ممزوج (مضجع تأكل)
- 349 2.9 المدرجات الهيدروديناميكية
- 350 10. المدرجات الأسطوانية
- 353 11. الميور
- 354 12. المستنات
- 354 1.12 هندسة وآلية التعشيق
- 359 2.12 القوى في المستنات
- 362 3.12 قابلية الحمل
- 366 4.12 آلية المستنات
- 368 13. آلية الذراع المرفقية
- 369 14. العناصر الهيدروليكية
- 369 1.14 المعادلات الأساسية
- 371 2.14 المضخات
- 373 3.14 المحركات
- 377 آلات العمل والقوة
- 377 1. حساب الاحتراق
- 377 1.1 حرارة الاحتراق وقيم التسخين
- 378 2.1 حساب الاحتراق للمواد الصلبة والسائلة
- 380 3.1 حساب الاحتراق للمواد الغازية
- 381 4.1 تحديد عامل نسبة الهواء
- 381 5.1 درجة حرارة الاحتراق النظرية  $t_{th}$  بـ  $^{\circ}C$
- 382 2. مولدات البخار

3. الآلات البخارية المكسية 385
- 1.3 الاستطاعات والمراديد 385
- 2.3 الاستطاعة الدليلية من المخطط الدليلي 387
4. العنفات البخارية 388
- 1.4 الاستطاعات والمراديد 390
- 2.4 استثمار الطاقة في القرص القائد والقرص الدوار 392
- 3.4 حساب مقاطع التدفق 393
- 4.4 العمل في محيط القرص  $h_{m\Delta}$  والمردود في المحيط  $\eta$  394
- 5.4 عرض الضياعات لمرحلة في عنفة والمردود الداخلي المرحلي  $\eta$  396
5. آلات قوى الاحتراق 396
- 1.5 الدارات المثالية لآلات قوى الاحتراق: 396
- 2.5 دارات المحركات الكاملة (التامة) 397
- 3.5 الأبعاد، المراديد والاستطاعات 399
6. المضخات المكسية والمضخات الدوارة 401
- 1.6 المضخات المكسية 403
- 2.6 المضخات الدوارة - المكثفات الدوارة 404
- 3.6 الاستطاعات والمراديد في المضخات الدورانية 405
- 4.6 سلوك المضخات الدورانية والمكثفات الدورانية 406
- 5.6 أجهزة سحب الهواء 408
- 6.6 المكثفات الدورانية 408
7. المكثفات المكسية 409
- 1.7 الأبعاد، الاستطاعات والمراديد 411



413	هندسة الإنتاج والتشكيل
413	1. التشكيل والقص
413	1.1 التشكيل
419	2.1 التشكيل، القوة والعمل اللازم
419	1.2.1 السحب
422	1.2.2 ضغط السيلان
425	3.2.1 سحب الأسلاك والقضبان
426	4.2.1 السحب العميق مع ختم التشكيل
429	5.2.1 الثاني
431	3.1 القص (القص المتوازي)
432	2. الخراطة
432	2.1 علاقات الخراطة الأساسية
440	2.2 حساب قوى القطع، استطاعة القطع والتشغيل
440	1.2.2 الخراطة
441	2.2.2 القشط والصدم
442	3.2.2 الثقب
445	4.2.2 السحل
445	5.2.2 الحلك
445	6.2.2 التفريغ
447	7.2.2 التفريز
452	8.2.2 التخليخ، الصقل
452	3.2 حساب الزمن الأساسي للألة tGm بـ min (الزمن الرئيسي)
452	1.3.2 الخراطة
455	2.3.2 القشط والصدم
456	3.3.2 الثقب والإنزال

457 \_\_\_\_\_ التفريغ (التجفيف) 4.3.2

457 \_\_\_\_\_ التفريز 5.3.2

459 \_\_\_\_\_ التحليخ 6.3.2

473 \_\_\_\_\_ جدول المحتويات

# TECHNICAL POCKET REFERENCE FOR ENGINEERS

تبرز أهمية هذا الكتاب لكونه يحتوي على كافة القوانين العلمية والمعادلات الهندسية المستخدمة في شتى أنواع العلوم. بالإضافة إلى الواحدات والجداول والرسوم التوضيحية الخاصة بكل علم. يشمل هذا الكتاب العلوم المتنوعة التالية:

- الرياضيات.
- المعلوماتية.
- الفيزياء ( ويتضمن: الاهتزازات والموجات وميكانيك الموائع والحرارة والصوت ).
- الفيزياء الذرية.
- الميكانيك الهندسي.
- الهندسة الكهربائية.
- الهندسة الإلكترونية.
- هندسة التحكم.
- تصميم الآلات.
- الآلات الحرارية.
- هندسة تشكيل المعادن



30017



4520R0560400



<http://www.raypub.com>